


WIEDZA POWSZECHNA

Zbigniew Jethon

# BARIERY LUDZKICH MOŻLIWOŚCI

Prof. dr Zbigniew Jethon ukończył Akademię Medyczną we Wrocławiu w 1952 r. Już w czasie studiów prowadził badania w zakresie fizjologii pod kierunkiem prof. dra Andrzeja Klisieckiego. W latach 1967—70 zajmował stanowisko kierownika Wojskowego Instytutu Medycyny Lotniczej, będąc wówczas członkiem Międzynarodowego Komitetu Badania Przestrzeni Kosmicznej COSPAR oraz przewodniczącym sekcji biologicznej Komitetu PAN do spraw badań i pokojowego wykorzystania przestrzeni kosmicznej. Jego dorobek naukowy obejmuje około 100 prac oryginalnych i przeglądowych z dziedziny fizjologii wstrząsu pokrwotocznego, fizjologii lotniczej i kosmicznej oraz wysiłku fizycznego. Głównym przedmiotem jego zainteresowań jest problem możliwości życia i pracy w zmienionych warunkach środowiskowych. Opracował m.in. fizjologiczne podstawy stosowania zabezpieczenia przed niedotlenieniem wysokościowym oraz zainicjował badania nad kryteriami przydatności do określonych stanowisk pracy. Jest członkiem wielu komitetów i rad naukowych oraz komitetu redakcyjnego czasopism „Wychowanie Fizyczne i Sport" i „Ergonomia". Poza działalnością naukowo-badawczą i dydaktyczną publikuje liczne popularnonaukowe artykuły, książki oraz wygłasza odczyty.

Czy obecna działalność człowieka nie zmienia kierunku jego ewolucji? A skoro tak, to w jakim stopniu i jakie są następstwa tej zmiany, jeżeli chodzi o tolerancję czynników środowiskowych? Czego możemy oczekiwać w dziedzinie zdrowotności, długowieczności i zdolności przystosowawczych od człowieka XXI wieku, zakładając obecny kierunek i tempo rozwoju cywilizacji? Te problemy, które pasjonują przecież dziś niemal wszystkich, rozważa autor w książce pt. *Bariery ludzkich możliwości*.

1947  1977

311

Okładka i strona tytułowa
*Józef Cz. Bieniek*

Ilustracja na okładce
*Juliusz Kulesza*

Printed in Poland

Państwowe Wydawnictwo „Wiedza Powszechna"
Warszawa 1977

Publikacja wydana z pomocą finansową PAN

4H.Sz.until.E.of.T.!

Redaktor: *Halina Myślicka*
Redaktorzy techniczni: *Barbara Parczewska, Irena Szwedler*
Korektor: *Maria Sielicka-Soroka*

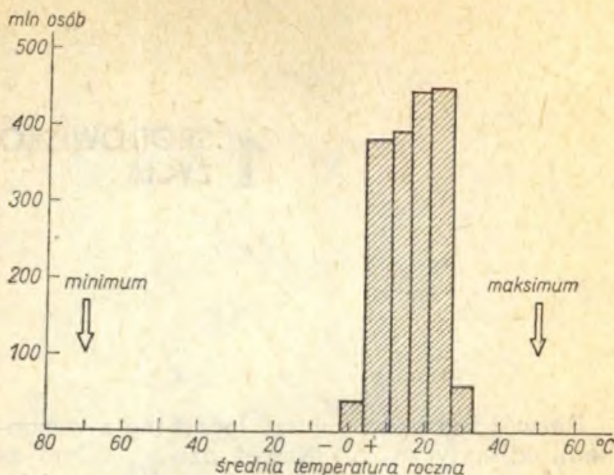
Wydanie I. Nakład 15300 egz.
Ark. wyd. 8,8. Ark. druk. 10,75.
Papier druk. sat., kl. IV, 70 g, 80×100.
Oddano do składania w grudniu 1976 r.
Druk. ukończono w lipcu 1977 r.
Cena zł 15,—

Z.G.K. Zakad nr 5 w Bytomiu. Zam. 462 — F-30

# 1 ŚRODOWISKO ŻYCIA

Rozwój ludzkości zawsze łączył się z warunkami klimatycznymi. Nawet dzisiaj, mimo że dzięki postępowi techniki zależność człowieka od klimatu znacznie się zmniejszyła, nadal nie potrafimy dać sobie rady z kaprysami pogody, a zaludnienie rejonów wysokogórskich, okolic podbiegunowych albo obszarów pustynnych dotąd pozostaje przeważnie w sferze nieudolnych prób realizacji prymitywnie zaprojektowanych rozwiązań. Nie inaczej bowiem można nazwać np. umieszczenie grupy ludzi na wiele miesięcy nocy polarnej w niewielkich stosunkowo pomieszczeniach bazy, z których wyjście jest często w tej porze roku związane z narażeniem zdrowia lub życia. Podobnie wznoszenie wałów ochronnych i tam, żeby uchronić osiedla przybrzeżne przed falami morskimi, przypomina nieco dziecinną zabawę — budowanie zamków z piasku na plaży nadmorskiej.

Interesujące są porównania zależności rozwoju wysokich cywilizacji od warunków klimatycznych. Jak podaje Markham, ośrodki wszystkich starożytnych cywilizacji rozmieszczały się wokół linii izotermicznej, łączącej średnie roczne temperatury +21°C. Oddalanie się od tej izotermy stało się możliwe dopiero dzięki




Rys. 1. Zależność rozmieszczenia populacji ludzkiej od średniej rocznej temperatury okolic zamieszkania (wg Markhama).

wykorzystaniu ognia do ogrzewania pomieszczeń, co było równoznaczne ze stworzeniem odpowiedniego mikroklimatu dla bytowania. Obecnie najwyższy poziom cywilizacji istnieje na obszarach zawartych między izotermami +6,0°C i +16,5°C (rys. 1). Wyjątek stanowią tu Stany Zjednoczone i Kanada, gdzie dzięki rozwojowi budownictwa mieszkań klimatyzowanych uzależnienie od wahań temperatury otoczenia jest mniejsze. Jednakże w żadnym z pozostałych krajów z grupy najbardziej rozwiniętych pod względem gospodarczym i cywilizacyjnym średnia temperatura miesiąca najcieplejszego nie jest wyższa od +21,5°C, a miesiąca najchłodniejszego — niższa od −2,0°C.

Gatunek *Homo* zaczął się wyraźnie rozwijać na początku epoki lodowej. Wcześniejsze wykopaliska także co prawda wskazują na obecność człowieka. Rozwój antropoidów umiejsca-

wia się w oligocenie, a małp człekokształtnych — w miocenie. Pojawienie się człowieka w pliocenie zostało z całą pewnością udowodnione, jednakże pierwsze ślady społeczeństw ludzkich przypadają dopiero na pierwszą epokę czwartorzędu — plejstocen, czyli na okres przed około milionem lat. W epoce tej wystąpiły cztery zlodowacenia, kiedy warunki bytowania wymagały mobilizacji wszystkich mechanizmów aklimatyzacyjnych, przyczyniając się też do pobudzenia pomysłowości i wynajdywania środków ułatwiających przetrwanie. Człowiek ujarzmił ogień, wynalazł narzędzia pracy, co spowodowało zasadnicze przekształcenia organizacyjne, socjalne i kulturalne społeczności ludzkich.

Udowodniono także duży wpływ klimatu na budowę i funkcję ciała ludzi, zamieszkujących dane strefy geograficzne. Zdaniem Zbigniewa Drozdowskiego, L. A. Czubukowa i innych autorów, najistotniejszą rolę w wykształceniu cech zewnętrznych człowieka odgrywają: intensywność nasłonecznienia i ruch oraz wilgotność powietrza. Zwiększona zawartość w skórze i w tęczówce oka melaniny, barwika mającego właściwości ochronne przed działaniem promieni ultrafioletowych, właściwa jest ludom zamieszkującym tereny o wysokiej wartości średniej nasłonecznienia. A. M. Thompson i R. Buxton stwierdzili, że im wyższa jest temperatura i wilgotność powietrza, tym bardziej szeroki i płaski jest nos osób zamieszkujących dane tereny. Tubylcy australijscy są niezwykle odporni na niedobór wody pitnej, ich nerki filtrują krew wykorzystując przy tym minimalną ilość wody, wskutek czego mocz jest bardzo zagęszczony. Znane są także różnice budowy i wysokości ciała między Murzynami strefy tropikalnej i Eskimosami. Ci pierwsi są wysocy i szczupli, podczas gdy Eskimosów cechuje niska i krępa budowa ciała.

Te i wiele innych danych dowodzą wyraźnie, że warunki klimatyczne oddziaływają na rozwój człowieka. Oczywiście nie są one jedynymi czynnikami modelującymi ten rozwój. Nie są nawet czynnikami głównymi, z wyjątkiem pewnych szczególnych okresów. Na ewolucję człowieka wpływa bowiem olbrzymia liczba innych czynników właściwych jego środowisku bytowania, decydując o osobniczych i populacyjnych możliwościach rozwojowych.

Procesy przystosowawcze spowodowały, że człowiek nie ograniczył swego bytowania do stref klimatycznych najbardziej dla niego optymalnych. Przenosił się na coraz dalsze tereny na północ i południe, zajmował obszary mniej dla niego gościnne, starając się je wykorzystać jako miejsca zamieszkania. Oczywiście rozwój jego intelektu, nagromadzenie doświadczeń i wykorzystanie ich do przekształcania otoczenia ułatwiały mu opanowanie tych obszarów.

Przyglądając się warunkom klimatycznym zamieszkania człowieka i analizując je pod kątem widzenia wspomnianej gościnności dla przebywających w tych warunkach ludzi, dostrzegamy dużą dowolność interpretacji. Nikt nie neguje wpływu warunków klimatycznych na organizm człowieka oraz ich onto- i filogenetycznego oddziaływania. Brak jest natomiast ustalonych i ogólnie przyjętych kryteriów oceny tego wpływu. Takim pojęciom, jak klimat, mikroklimat, pogoda i inne, specjaliści z zakresu meteorologii, higieny i geografii przypisują nieco odmienne znaczenia.

Strefę zamieszkałą przez żywe organizmy, w tym także przez człowieka, nazywa się biosferą. Obejmuje ona dolną część atmosfery ziemskiej — tzw. troposferę, wszystkie w zasadzie wody (hydrosferę) oraz powierzchowną warstwę skorupy ziemskiej, czyli litosferę. Obszar bytowania człowieka ogranicza się więc do styku tro-

posfery z litosferą lub hydrosferą. Jednakże jego działalność wykracza daleko poza ten obszar. Szukając pożywienia, minerałów lub po prostu zaspokajając ciekawość badacza, człowiek wychodzi daleko poza bezpośrednie środowisko bytowania, a nawet poza granice biosfery. Sztolnie kopalń sięgają ponad kilometr w głąb skorupy ziemskiej, a wiercenia geologiczne prowadzone są w litosferze na głębokości kilku i kilkunastu kilometrów. Już zwykły lot odrzutowym samolotem pasażerskim odbywa się na granicy troposfery lub powyżej niej, w stratosferze. Lot kosmiczny wykracza daleko poza atmosferę ziemską, sięgając w przestrzeń, gdzie nie ma warunków sprzyjających życiu organizmów ziemskich.

Charakteryzując zamieszkałą przez człowieka część biosfery mówimy zazwyczaj o klimacie. Zgodnie z najbardziej rozpowszechnionymi definicjami będziemy rozumieli przez to pojęcie charakterystyczny od wielu lat tryb zmienności pogody na danym terenie, uwarunkowany promieniowaniem słonecznym, ukształtowaniem powierzchni danego obszaru i cyrkulacją atmosfery. Według Stefana Klonowicza, klimat danego obszaru tworzą:

— położenie geograficzne,

— właściwości cyrkulacji atmosfery,

— właściwości transformacji mas powietrza,

— zmiany ilości ciepła dostarczanego w promieniowaniu słonecznym,

— geograficzne usytuowanie terenu,

— wysokość położenia terenu nad poziomem morza,

— rzeźba terenu, charakter powierzchni i roślinności,

— zanieczyszczenia powietrza (naturalne i sztuczne aerosole).

Warunki klimatyczne ukształtowane przez wymienione wyżej czynniki są różnie klasyfiko-

wane. Na przykład szczególnie przydatna z medycznego punktu widzenia klasyfikacja B. P. Alisowa wyróżnia pasy klimatyczne i typy klimatu. Alisow wylicza następujące pasy klimatyczne: równikowy, podrównikowy, zwrotnikowy, podzwrotnikowy, szerokości umiarkowanych, subarktyczny, arktyczny oraz subantarktyczny i antarktyczny. Typami klimatu w tej klasyfikacji są: lądowy, oceaniczny, wysokogórski oraz zachodnich i wschodnich wybrzeży lądów. W sumie, uwzględniając możliwości kombinacji pasów i typów klimatycznych, Alisow wyodrębnia na kuli ziemskiej 27 klimatów. Według proponowanej przez niego klasyfikacji klimat Polski zalicza się do typu zachodnich wybrzeży lądów w pasie szerokości umiarkowanych, a ściślej — do pogranicza trzech różnych typów klimatycznych: lądowego, oceanicznego i zachodnich wybrzeży morskich.

Usytuowanie Polski w strefie przejściowej powoduje, że pogoda jest u nas bardzo zmienna, wykazuje duże wahania parametrów meteorologicznych. Średnia temperatura dla terenu całej Polski wynosi 6,0 do 8,8°C, a ilość opadów około 600 mm rocznie (rys. 2). Poszczególne rejony wykazują jednak duże zróżnicowanie, co stało się podstawą wyodrębnienia przez Romana Gumińskiego 6 pór roku i 21 rejonów klimatycznych w Polsce.

Istnieją również inne podziały klimatów. Na przykład stosowana w Stanach Zjednoczonych klasyfikacja uwzględnia lądy suche, półsuche i wilgotne, które z kolei dzielą się na podstawie wskaźnika średniej temperatury rocznej na: chłodne (zimne), ciepłe i gorące. Do lądów suchych można zaliczyć wg tej klasyfikacji aż 2,7 mld hektarów, co stanowi 21% powierzchni wszystkich lądów. Półsuche lądy zajmują dalsze 2 mld hektarów.




Rys. 2. Rozmieszczenie regionów bioklimatycznych w Polsce według danych z lat 1958—1963 (wg Gregorczuka).

Inny podział uwzględnia siłę ochładzającą powietrza, którą wyraża się w kaloriach utraty ciepła z powierzchni ciała na cm² tej powierzchni w czasie jednej sekundy. Oparty na tej podstawie podział klimatu, zaproponowany przez W. A. Conrada, uwzględnia:

— klimat upalny: utrata ciepła poniżej 10 cal/ /cm²/s,

— klimat łagodny: utrata ciepła 10—20 cal/ /cm²/s,

— klimat chłodny: utrata ciepła 20—30 cal/ /cm²/s,

— klimat zimny: utrata ciepła 30—40 cal/ /cm²/s,

— klimat mroźny: utrata ciepła powyżej 40 cal/cm²/s.

Nie wszystkie, jak wiadomo, strefy klimatyczne są gościnne dla człowieka. Temperatury panujące w strefach arktycznej i antarktycznej nie pozwalają, jak dotychczas, na stałe przebywanie tam człowieka, jeśli pominie się tzw. naukowe bazy przejściowe zakładane w celach badawczych. To samo dotyczy partii wysokogórskich. Najwyżej położone osiedla stale zamieszkane nie przekraczają wysokości około 5000 m. Na przykład jedną z najwyżej położonych miejscowości, której ludność została szczególnie dokładnie zbadana pod kątem przystosowania do niedotlenienia, jest Morococha leżąca w Andach na wysokości 4540 m npm. O trudności pełnego przystosowania się do tak dużej wysokości może świadczyć historia kolonizacji tych okolic przez Hiszpanów. Po ich przybyciu na Wyżynę Andyjską ośrodkiem administracji była przez pewien czas miejscowość Jauja (3300 m npm). Hiszpanie czekali przez 53 lata na urodzenie pierwszego dziecka w rodzinie kolonizatorów (zdolność do reprodukcji jest jednym z kryteriów biologicznej adaptacji populacji napływowej), a po pewnym czasie musieli stolicę przenieść do Limy z powodu trudności aklimatyzacyjnych.

Strefy klimatyczne, gdzie panują wysokie temperatury powietrza, są lepiej tolerowane przez człowieka, pod warunkiem zapewnienia mu dostatku wody niezbędnej dla termoregulacji. Najmniej gościnne w strefach gorących są obszary pustynne, gdzie temperatury powietrza przekraczają często temperaturę powierzchni skóry. Mała wilgotność powietrza i sucha gleba powodują, że na tych obszarach tworzą się bardzo rzadko chmury, które mogłyby chronić przed nadmiarem promieni słonecznych. Promienie te szybko nagrzewają glebę, która emi-

tując ciepło dodatkowo podwyższa temperaturę powietrza przygruntowego. W tych warunkach (nagrzane powietrze, promieniowanie bezpośrednie Słońca i promieniowanie podłoża) bytowanie człowieka możliwe jest dzięki suchości powietrza i otwartemu niebu. Ułatwia to bowiem parowanie potu i wypromieniowywanie ciepła z powierzchni skóry w otaczającą przestrzeń. Ograniczenie tych czynników, na przykład w kotlinach górskich lub w pasie nadmorskim, może czasem uniemożliwiać dłuższy pobyt człowieka w tych okolicach.

Na przykład w Asuanie (Egipt) najwyższe (w ciągu dnia) i najniższe (w nocy) temperatury wynoszą w lecie 41,5°C i 25,5°C, a w zimie odpowiednio 23,5°C i 10°C. Wilgotność bezwzględna tej okolicy waha się w granicach 5,9—10,6 mm Hg, a temperatura gleby w południe w lecie wynosi zwykle około 63°C, dochodząc w skrajnych sytuacjach do 84°C. Nie są to warunki, w których można przebywać bez uprzedniego przystosowania.

Jednym z ważniejszych zespołów czynników środowiskowych mobilizujących procesy przystosowawcze naszego organizmu są zmiany w otoczeniu spowodowane cywilizacyjną działalnością człowieka. Najwięcej uwagi, jak dotychczas, poświęca się chemicznym zanieczyszczeniom środowiska, gdyż wiele związków chemicznych, które powstają jako „zamierzony" lub „uboczny" produkt naszej działalności, działa toksycznie na organizm ludzki, zmieniając stan zdrowia, a nawet cechy genetyczne. Powstała nawet nowa gałąź nauki — toksykologia środowiska, której zadaniem jest badanie niekorzystnych wpływów chemicznych czynników środowiskowych na organizm człowieka.

Istniejące w dzisiejszych czasach naturalne ogniska bytowania ludzi obejmują obszar od strefy tropikalnej do arktycznej. Na przykład

w Finlandii około 90 000 osób mieszka i pracuje poza kręgiem polarnym, a w Związku Radzieckim liczbę tę ocenia się na około 800 000 osób. Było to możliwe dzięki odpowiedniemu ukształtowaniu środowiska bytowania, a zwłaszcza warunków mieszkalnych i odpowiednim ubiorom. Środki te w dużym stopniu odizolowały współczesnego człowieka od niekorzystnych warunków klimatycznych, pozwalając mu rozwijać działalność nawet w razie wystąpienia wysokich temperatur ujemnych lub dodatnich, dużych wahań temperatur, zmian ciśnienia atmosferycznego, zanieczyszczeń powietrza w miejscu pracy, zmian oświetlenia itp. Nie oznacza to jednak, że czynniki te przestały mieć wpływ na nasz organizm. Wpływ ten istnieje nadal, a jego skutki uwidoczniają się szczególnie wyraźnie w razie nagłych zmian środowiska lub zmian któregoś z jego parametrów.

Tworząc własne, w danych warunkach klimatycznych optymalne, środowisko bytowania, człowiek zmienił zakres oddziaływających na niego czynników otoczenia oraz wprowadził nowe, dotychczas nie istniejące. Dotyczy to przede wszystkim większych zbiorowisk — ośrodków miejskich, które charakteryzują się odrębnym zespołem czynników nakładających się na wpływy klimatyczne. Dotyczy to również większych rejonów uprzemysłowionych. Industrializacja i urbanizacja są głównymi akcentami współczesnej cywilizacji kształtującymi środowisko bytowania człowieka.

Przykładem zmian środowiska spowodowanych uprzemysłowieniem oraz rozwojem miast są zanieczyszczenia atmosferyczne. Przeprowadzone w Stanach Zjednoczonych pomiary wykazały duże różnice w stopniu zanieczyszczenia powietrza między okolicami mającymi rozwinięty przemysł i rejonami rolniczymi. W miejscowości Berlin (New Hampshire), gdzie rozbu-

dowany jest przemysł drzewny i papierniczy, w roku 1966—1968 średnie miesięczne opady pyłu wynosiły około 15 ton/km$^2$, a w rejonie rolniczej osady Chilliwack (Kanada, Kolumbia Brytyjska), o zbliżonych warunkach klimatycznych — tylko około 3 ton/km$^2$. Zawartość dwutlenku siarki w powietrzu wahała się we wspomnianym Berlinie około 0,016 ppm,* w Chilliwack natomiast wynosiła średnio 0,0025 ppm. W Polsce, na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, zapylenie w 1969 r. wynosiło rocznie 477 ton/km$^2$, dając średnią miesięczną około 40 ton/km$^2$. Swoisty rekord w tym względzie padł w Chorzowie w 1968 r., gdzie roczny opad pyłu wyniósł 3151 ton/km$^2$.

T. Keller (USA) analizując problem zanieczyszczenia powietrza spalinami środków napędowych używanych w motoryzacji zwraca uwagę na liczne skutki tego zjawiska spowodowane odkładaniem się ołowiu w tkankach organizmów żywych. W roślinach rosnących w pobliżu ruchliwych autostrad zawartość ołowiu może osiągnąć wartość 2500—3000 ppm suchej masy.

Substancje zanieczyszczające atmosferę dzieli się zazwyczaj na grupy o podobnym znaczeniu toksycznym. Jednym z najczęściej przyjmowanych podziałów jest klasyfikacja L. C. McCabe'a, według której wyróżnia się następujące grupy zanieczyszczeń:

ciała stałe, związki siarki, związki organiczne, związki azotu, związki tlenu, związki chlorowców, substancje radioaktywne.

Współudział substancji zaliczanych do różnych grup zanieczyszczeń atmosfery zależy od wielu czynników, z których największe znaczenie ma rodzaj zakładów przemysłowych znajdujących się na danym terenie. Na przykład wokół zakładów włókien wiskozowych nagromadza się zwykle, wydalany do atmosfery, dwusiarczek

* *pars pro milion* (cząstka na milion).

węgla. Badania W. Klimka w Żydowicach koło Szczecina wykazały, że jeszcze w odległości 2 km od zakładu stężenie dwusiarczku węgla wynosiło 1,6—2,6 mg/m$^3$, co przy długotrwałym działaniu, zdaniem tego autora, może już spowodować zmiany w aktywności przenoszenia bodźców w układzie nerwowym (zmiana aktywności cholinesterazy) i uszkodzenia tkanki płucnej (zmiany zwyrodnieniowe).

Chemiczne zanieczyszczenia powietrza nie są jedynym zagrożeniem człowieka we współczesnej cywilizacji. Należy tu wymienić także substancje zanieczyszczające wodę i glebę. Na przykład pestycydy, stosowane do ochrony roślin przed szkodnikami, mogą pozostawać w glebie przez wiele lat, przechodząc stopniowo do roślin, a także — do organizmów zwierzęcych. W roku 1968 Jan Korczyński stwierdził, że na terenie Polski zawartość w glebie DDT wynosiła średnio 0,9 mg/kg. Badania porównawcze Ireny Obuchowskiej i Krystyny Cywińskiej-Smoter, przeprowadzone w latach 1969—70 na terenie ówczesnych powiatów pruszkowskiego i grodziskiego, wykazały zmniejszenie się tego zanieczyszczenia do 0,14—0,05 mg/kg, dzięki zaniechaniu stosowania DDT w rolnictwie. Jednakże na terenach sadowniczych poziom DDT w glebie nadal utrzymuje się w granicach 0,25—2,0 mg/kg.

Mimo że chlor jest od przeszło 60 lat stosowany do dezynfekcji wody, jego wpływ w małych stężeniach na organizm człowieka jest nadal kontrowersyjny. Na ogół przyjmuje się, że chlor w ilościach do 2,5 mg/l wody jest nieszkodliwy. Jednakże są dane wykazujące ujemne jego działanie przy dłuższym stosowaniu już w stężeniach 0,5 mg/l.

A oto nieco liczb ilustrujących stan zanieczyszczenia wód. Jak podaje Jan Minorski, opierając się na danych Centralnego Urzędu Gos-

podarki Wodnej, wzrost zapotrzebowania na wodę w kraju ma wzrosnąć do 17,4 mld $m^3$ w 1985 r. Oznacza to, że średnie zużycie wody w upalne dni wyniesie około 1000 $m^3$/s. Tymczasem przepływ wody w rzekach w okresie suchego lata może kształtować się znacznie poniżej tej wartości. W 1921 r. stwierdzono, że średni przepływ dla całej Polski wyniósł 444 $m^3$/s. W dodatku stale nie nadąża się z rozbudową oczyszczalni ścieków, wskutek czego stosunek ilości wody naturalnej zdatnej do użytku do wody zanieczyszczonej ściekami, odprowadzanej do rzek, stale zmienia się na niekorzyść. W latach 1960—1975 stosunek ten kształtował się jak 3 : 1. Tak więc, przy niskim stanie wód, głównym rzekom w kraju grozi prawie całkowite zatrucie. Według danych Centralnego Urzędu Gospodarki Wodnej przydatne do celów komunalnych jest 2,2—5,5% ilości wód, dla celów rolniczych i przemysłowych 25,0—61,1%, a nie odpowiadających normom (zgodnie z polskimi wymaganiami prawnymi) jest 6,0—62,8% wód. Najgorsza pod tym względem sytuacja jest w województwach południowo-zachodnich oraz w bydgoskim, gdzie wskaźniki zanieczyszczeń są najwyższe.

Poza szkodliwymi czynnikami chemicznymi należy wymienić, równie ujemnie oddziaływające na organizm żywy, czynniki fizyczne. W środowisku miejskim najgroźniejsze z medycznego punktu widzenia są: hałas, zmiana oświetlenia, promieniowanie jonizujące i zagrożenie wypadkowe. Do tego należy dołączyć czynniki natury psychologicznej. Jako parametry determinujące określone zachowanie się i wydolność organizmu człowieka należy wymienić przede wszystkim nadmierne zagęszczenie mieszkań, duży pośpiech i w związku z tym przeciążenie ośrodkowego układu nerwowego, dysproporcje między czasem pracy a natural-

nym rytmem dobowym, niedostateczny wypoczynek oraz, często, nieprawidłowe stosunki międzyludzkie w miejscu pracy. Powoduje to niepożądane reakcje organizmu, które przybierają postać ostrych reakcji stresowych.

Ilustracją wymienionych zagrożeń mogą być liczby. W Stanach Zjednoczonych, kraju o szczególnie rozwiniętej sieci połączeń drogowych i lotniczych, rocznie ginie w wypadkach (według danych przedstawionych przez J. J. Hanlona) około 100 000 osób, a uszkodzeń ciała (łącznie wszystkich) zdarza się w tym samym czasie około 52 milionów. W centrum Warszawy poziom hałasu w mieszkaniach przekracza 80 decybeli, uniemożliwiając prawidłowy wypoczynek nocny. Według analizy przeprowadzonej przez A. L. Philipsoona, starcze przytępienie słuchu znacznie rzadziej występuje w populacjach żyjących we względnej ciszv środowiskowej niż w populacjach miejskich. W Szwecji i w Norwegii liczba zgonów na choroby układu krążenia, które mają związek z zakłóceniem procesów przystosowawczych wskutek nadmiernego przeciążenia organizmu, wynosiła w 1960 r. ponad 4800 na milion mieszkańców.

Szkodliwość wszystkich wymienionych tu zmian środowiska bytowania, dokonanych przez samego człowieka, zależy od naszego przystosowania się do nich. Dawniej, kiedy tempo zmian spowodowanych urbanizacją i uprzemysłowieniem było stosunkowo niewielkie, organizm człowieka mógł się częściowo przystosować do odmiennych warunków życia. Niestety, naturalne procesy przystosowawcze są zbyt powolne i coraz słabiej nadążają za tempem przemian środowiskowych. Powstają dysproporcje między zapotrzebowaniem adaptacyjnym i aktualnymi możliwościami organizmu.

Dotyczy to zwłaszcza osób świeżo przybyłych

do danego środowiska, które nie miały uprzednio styczności z tak intensywnie działającymi szkodliwościami cywilizacyjnymi. W znacznie korzystniejszej sytuacji są stali mieszkańcy tych rejonów, u których warunki bytowania spowodowały już pewną adaptację utrwaloną w genotypie, czyli zakodowaną w genach przekazywanych potomstwu. W razie zaistnienia dysproporcji między potrzebami i aktualnymi możliwościami przystosowawczymi powstaje szereg schorzeń nazywanych popularnie „reakcjami stresowymi".

Przykładem schorzeń, które wynikają z niedostatecznych możliwości przystosowawczych, mogą być lawinowo narastające nerwice jako wyraz nadmiernego obciążenia ośrodkowego układu nerwowego. Znany jest także związek między częstością występowania zawału serca a stopniem odpowiedzialności za wykonywaną pracę zawodową. Analiza częstotliwości schorzeń układu krążenia dokonana przez G. Liebgotta w RFN wykazuje, że w 1964 roku, w porównaniu z 1935 rokiem, liczba zgonów z powodu zawału serca wzrosła prawie trzykrotnie, z powodu miażdżycy naczyń wieńcowych serca — dwukrotnie, a z powodu nadciśnienia tętniczego — ponad dwukrotnie. Przesunął się także wiek osób zmarłych na te schorzenia o 10—15 lat w kierunku grup młodszych.

Szczególnie wymownym przykładem nadmiernej reakcji stresowej, w tym przypadku psychogennego pochodzenia, może być nagłe zwiększenie częstości przypadków krwawienia z błony śluzowej żołądka, które wystąpiły u mieszkańców Londynu po pierwszych bombardowaniach dokonanych przez Niemców w czasie II wojny światowej. Jak podaje Hans Selye, objawy kliniczne do złudzenia przypominały pęknięcie wrzodu żołądka. Dopiero w trakcie zabiegu operacyjnego okazywało się, że

krwawienia są minimalne, zupełnie nie wymagające leczenia chirurgicznego, a po wrzodach żołądka nie było śladu.

Mechanizm powyższych zjawisk łatwo można prześledzić w doświadczeniach na zwierzętach. Na przykład podczas przystosowywania myszy do stałego obniżania temperatury otoczenia stwierdza się wyraźnie zależność procesu adaptacyjnego od szybkości postępujących zmian środowiskowych. Przekroczenie pewnych wartości tempa tych zmian powodowało zanik procesu adaptacyjnego, zwierzę traciło dotychczasową zdolność znoszenia niskiej temperatury i ginęło wśród objawów wyczerpania.

Niekorzystne zmiany w procesie adaptacyjnym, które wyrażają się wzrostem zapadalności na pewne typy schorzeń, mogą być spowodowane każdym nagłym zadziałaniem dużych zmian środowiskowych. Stwierdzany czasem gwałtowny wzrost śmiertelności przy pogorszeniu się stanu czystości atmosfery spowodowany jest głównie zbyt intensywną reakcją stresową. Tego rodzaju „epidemie" zgonów z powodu nagłego wzrostu zanieczyszczenia powietrza gazami przemysłowymi i spalinowymi wystąpiły m.in. w 1948 r. w Donora (USA), w 1953, 1963 i 1966 r. w Nowym Jorku (USA) i w 1952 r. w Londynie (Anglia).

Do schorzeń spowodowanych zanieczyszczeniami atmosfery i nadmiernym obciążeniem procesów przystosowawczych należy dołączyć uszkodzenia, które w konsekwencji prowadzą do powstania chorób nowotworowych. Już w 1775 r. P. Pott ustalił związek między drażnieniem powierzchni skóry przez sadzę a częstością występowania raka moszny u kominiarzy londyńskich. We współczesnym świecie liczba środków rakotwórczych, które są wydalane przez przemysł do atmosfery, znacznie się zwiększyła. Substancje te przedostają się także wraz

z opadami do gleby, a stąd poprzez rośliny jadalne do organizmu człowieka. Zagrożenie jest więc wielostronne. Wspomniane substancje mogą przenikać zarówno przez drogi oddechowe, przez skórę, jak i przez przewód pokarmowy. Porównanie częstości zgonów w Stanach Zjednoczonych z powodu raka w latach 1930 i 1955, przeprowadzone przez J. C. Blaira i współprac., wykazało jej wzrost zwłaszcza w odniesieniu do raka płuc (około 5-krotny) i białaczki (prawie dwukrotny). W Polsce pod względem zagrożenia substancjami rakotwórczymi zawartymi w powietrzu Zabrze wyprzedza wiele uprzemysłowionych miast zachodnich (np. Salford, Liverpool), a na drugim miejscu uplasował się Kraków. Oczywiście zagrożenie nie oznacza jeszcze faktycznej zachorowalności, która może zależeć od wielu dodatkowych czynników.

Optymalizacja warunków bytowania człowieka jest bardzo utrudniona, bo niedostatecznie jeszcze znamy skutki długotrwałego wpływu poszczególnych czynników środowiskowych. Przemysłowe normy narażenia są znane, lecz dotyczą oddziaływania okresowego, które trudno porównywać z narażeniem ciągłym. Niemniej pewne wyniki badań są już opublikowane i opracowano już normy dla najważniejszych czynników szkodliwie działających oraz — związane z tym — odpowiednie przepisy. Normy te są stale aktualizowane i obejmują coraz to nowe, kolejno poznawane czynniki. Akcję tę utrudnia stale postępujący proces adaptacyjny ludności mieszkającej na danym obszarze, który sprawia, że w pewnych przypadkach mimo przekroczenia dopuszczalnych stężeń np. zanieczyszczenia atmosfery jakimiś gazami lub pyłami nie stwierdza się wyraźniejszych odchyleń w stanie zdrowia populacji narażonej na działanie tych substancji. Zasady normowania muszą więc być stosowane indywidualnie, zależnie od dane-

go rejonu, a to z kolei jest bardzo pracochłonne, gdyż wymaga poznania wszystkich współzależności ekologicznych danego środowiska.

Uzasadnione jest więc pytanie, co należy rozumieć przez pojęcie „optymalnego środowiska bytowania" i czy takie środowisko można w ogóle stworzyć. Wiadomo, że zmniejszenie obciążenia poniżej pewnego minimum nie jest wcale dla organizmu człowieka korzystne. Jako szczególnie jaskrawy przykład można tu przytoczyć zmiany, jakie pojawiają się przy eliminowaniu obciążenia fizycznego w tzw. hipokinezji. Unieruchomienie przez wiele dni w łóżku zdrowego człowieka powoduje rozległe zmiany wewnątrzustrojowe, m.in. odwapnienie kości, zmniejszenie siły mięśniowej i częściowy zanik mięśni, zmniejszenie wydolności mięśnia sercowego przy wysiłku fizycznym, zwiększenie wrażliwości na zakażenie bakteryjne i inne.

Optymalne środowisko bytowania jest więc ściśle związane z pewnym określonym obciążeniem organizmu człowieka czynnikami środowiskowymi, co niektórzy nazywają „optymalnym stresem". Każdy organizm żywy przystosowuje się do środowiska przez całe życie, jeśli przez pojęcie środowiska będziemy rozumieli nie tylko otoczenie, lecz także wysiłek fizyczny, życie gromadne u zwierząt, a u człowieka — wpływy socjalne i kulturalne. Adaptacja, o której szczegółowo będzie jeszcze mowa w dalszych rozdziałach, nie jest więc procesem przystosowującym organizm tylko do „ujemnych" czynników środowiska, lecz do każdej zmiany, jaka zachodzi w stosunku do stanu poprzedniego. Pojęcie to obejmuje wszystkie procesy wewnątrzustrojowe, które ułatwiają przetrwanie danego organizmu w danym środowisku.

Optymalne środowisko bytowania człowieka może być określone czynnikami, które obejmują wszystkie dziedziny życia człowieka. Jako je-

den z pierwszych zebrał je i przedstawił w przejrzysty sposób Van R. Potter:

1. Zaspokojenie podstawowych potrzeb człowieka (pożywienia, mieszkania, ubioru, przestrzeni bytowania, odpoczynku, przebywania w odosobnieniu, a także wykształcenia i wychowania), które winno być osiągnięte przynajmniej częściowo jego wysiłkiem.

2. Konieczność usunięcia ze środowiska wszelkich szkodliwości chemicznych, ochrony przed zbędnymi urazami (zwłaszcza wojennymi i drogowymi) oraz przed chorobami, którym można zapobiec przez stosowanie odpowiedniej profilaktyki.

3. Zachowanie podstawowych warunków ekologicznych przy korzystaniu z zasobów środowiska w celu utrzymania równowagi z przyrodą ożywioną i nieożywioną. Należy przy tym pamiętać, że zadanie to obowiązuje już dziś, że jego realizacji nie wolno przesuwać w bliżej nieokreśloną przyszłość.

4. Maksymalne wykorzystywanie fizjologicznych i psychologicznych możliwości przystosowawczych przez poddawanie się „optymalnym" stresom. Doświadczalnie stwierdzono, że genetycznie uwarunkowane możliwości adaptacyjne nie ujawniają się automatycznie w każdym życiu osobniczym, lecz dopiero i tylko w czasie wystąpienia odpowiednio silnych optymalnych oddziaływań środowiskowych.

5. Zapewnienie poczucia zadowolenia, które winno okresowo oscylować między odczuciem satysfakcji i niezadowolenia w celu pobudzenia do odpowiedniego działania.

6. Zapewnienie możliwości reprodukcyjnych jako obowiązków wobec gatunku i społeczności, w której żyje dana osoba.

7. Umożliwienie współudziału w rozwoju kultury, sztuki, wiedzy, dobrobytu i stworzenie warunków należytego wypełniania obowiązków.

# 2 ŚRODOWISKO PRACY

Oprócz środowiska życia, które w decydującym stopniu wpływa na warunki rozwoju osobniczego, drugim istotnym czynnikiem modelującym biologiczną wartość człowieka jest środowisko pracy. Przydatność produkcyjna ludzi w wielu krajach uprzemysłowionych trwa przeciętnie 35—40 lat, a w krajach dopiero rozwijających się gospodarczo — jeszcze dłużej. W tym czasie 1/4—1/3 każdej doby roboczej człowiek pracujący spędza w środowisku, które zasadniczo różni się od warunków w miejscu zamieszkania lub odpoczynku. Odmienność ta może dotyczyć różnych czynników środowiskowych — mikroklimatu, hałasu, oświetlenia, zanieczyszczeń chemicznych atmosfery, zapylenia itp. Może to także być odmienność związana z działaniem stresów psychicznych — jak monotonia, przeciążenie informacjami, zagrożenie, emocja itp.

Warunki pracy nie na wszystkich stanowiskach, zwłaszcza w zakładach przemysłowych, mieszczą się w granicach tolerowanych przez organizm osoby pracującej. W niektórych wypadkach, zwłaszcza w krajach o niskiej kulturze technicznej i małych tradycjach przemysło-

wych, robotnicy są narażeni na działanie czynników, nieobojętnych dla stanu zdrowia.

Ideałem nauk zajmujących się pracą jest stworzenie takich warunków działalności człowieka, które nie wpływając ujemnie na stan zdrowia pracującego zapewniałyby możliwie najwyższą wydajność pracy. Jest to ideał, który nawet teoretycznie trudno uznać za możliwy do osiągnięcia. Każdy rodzaj działalności człowieka wymaga zwiększenia aktywności różnych procesów wewnątrzustrojowych. To z kolei powoduje, na zasadzie sprzężenia zwrotnego, powstanie zmian limitujących nadmierne zużycie sił. Przejawem tych zmian jest zmęczenie, zmuszające daną osobę do zwolnienia tempa pracy lub nawet — jej przerwania. Oddziaływanie dodatkowych fizycznych, chemicznych lub biologicznych czynników towarzyszących pracy oraz nieprawidłowości w jej organizacji mogą przyspieszać wystąpienie zmęczenia obniżającego wydajność. Jeżeli te oddziaływania mieszczą się w granicach nie przekraczających możliwości usuwania ich skutków przez organizm w czasie odpoczynku, zmęczenie zmniejszające stopniowo zdolność wysiłkową człowieka w miarę wykonywania pracy zawodowej nie nawarstwia się.

W wielu rodzajach działalności zawodowej człowieka zapewnienie optymalnych warunków pracy nie jest — jak dotąd — możliwe. Wynika to z różnych przyczyn, ale najczęstsza — to charakter samego procesu technologicznego. Na przykład do czasu pełnego zautomatyzowania kopalni węgla nie sposób ochronić całkowicie górnika przed pyłem podczas pracy w sztolni. Nic dziwnego więc, że badania przeprowadzone w 18 kopalniach walijskich, w których badaniami radiologicznymi objęto ponad 90% górników, wykazały około 7,6% chorych na pylicę, a wahania częstości zachorowań między poszczególnymi kopalniami wyniosły od 2% do

21,7%. Liczbę zarejestrowanych chorych na choroby i zatrucia zawodowe w Polsce ilustrują niżej przedstawione zestawienia, opublikowane przez Feliksa Sawickiego (tab. 1, 2).

Tab. 1
**Zarejestrowane choroby i zatrucia zawodowe w Polsce w latach 1961—1965 w przemyśle i poza przemysłem**
(wg F. Sawickiego)

| Choroby i zatrucia | Ogółem | | W przemyśle | | Poza przemysłem | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1965 | średnio 1961—1965 | 1965 | średnio 1961—1965 | 1965 | średnio 1961—196 |
| Zatrucia truciznami przemysłowymi | 1170 | 1292 | 1114 | 1196 | 126 | 97 |
| Pylice | 1562 | 1143 | 1539 | 1123 | 23 | 20 |
| Choroby skóry | 521 | 556 | 465 | 484 | 56 | 71 |
| Zawodowe uszkodzenia słuchu | 218 | 161 | 207 | 154 | 11 | 7 |
| Pozostałe | 346 | 253 | 254 | 195 | 92 | 58 |
| Ogółem | 3877 | 3405 | 3579 | 3152 | 308 | 253 |

Tab. 2
**Zarejestrowane zatrucia truciznami przemysłowymi w Polsce w przemyśle w latach 1961—1965**
(wg F. Sawickiego)

| Zatrucia | 1961 | 1962 | 1963 | 1964 | 1965 | Średnio 1961—1965 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ołowiem | 515 | 453 | 297 | 248 | 457 | 394 |
| Rtęcią | 63 | 111 | 87 | 32 | 38 | 66 |
| Dwusiarczkiem węgla | 127 | 138 | 124 | 149 | 194 | 147 |
| Tlenkiem węgla | 229 | 140 | 229 | 110 | 163 | 174 |
| Benzenem | 203 | 254 | 158 | 97 | 92 | 161 |
| Innymi truciznami | 347 | 238 | 229 | 288 | 170 | 254 |
| Ogółem | 1484 | 1334 | 1124 | 924 | 1114 | 1196 |

Pojęcie szkodliwości zawodowych zostało wprowadzone ze względów prawnych z chwilą stwierdzenia potrzeby normowania wpływu nie-

których czynników na organizm człowieka pracującego. Zasadniczą treścią tego pojęcia jest stwierdzenie, że dany czynnik, po przekroczeniu określonego nasilenia, może spowodować uszkodzenie stanu zdrowia. W zależności od charakteru tych czynników, dzieli się je na:

— szkodliwości fizyczne — mikroklimatyczne (temperatura, wilgotność, ruch powietrza, ciśnienie atmosferyczne), promieniowanie cieplne, promieniowanie jonizujące, promieniowanie elektromagnetyczne, zanieczyszczenie pyłami, hałas, wibracja, oświetlenie;

— szkodliwości chemiczne — trucizny przemysłowe, pył (jego chemiczne działanie na tkankę płucną), zapachy, odchylenia od normalnego składu powietrza (zawartość tlenu, dwutlenku węgla);

— szkodliwości biologiczne — pasożyty, bakterie, wirusy, grzyby, drożdże;

— szkodliwości wynikające z wadliwej organizacji pracy lub nieprawidłowego stanowiska roboczego.

Zmiany w organizmie spowodowane działaniem czynników szkodliwych mogą być bardzo różne. Wynikają one przede wszystkim z charakteru danego czynnika i mechanizmów, które powodują uszkodzenie organizmu człowieka pracującego. Zadaniem służb ochrony i profilaktyki uszkodzeń zawodowych jest niedopuszczenie do powstania sytuacji, w których szkodliwości zawodowe przekraczają poziom groźny dla zdrowia pracownika. Do tego celu służą normy stopnia narażenia usankcjonowane aktami prawnymi.

Normowanie dopuszczalnego narażenia na niepożądane zmiany czynników środowiska pracy jest jednym z najtrudniejszych problemów nauk o pracy. Niestety, już sama definicja „normy fizjologicznej" czy „psychologicznej" nastręcza duże trudności, wskutek czego brak

dotąd ogólnie uznanej jej formuły. Możemy łatwo określić, czym jest odchylenie od stanu zdrowia, ale nie potrafimy zdefiniować ściśle, co to jest zdrowie i jakimi normami winno się charakteryzować. Jeszcze trudniejsze jest ustalenie zakresu odchyleń dopuszczalnych np. w działalności zawodowej, które mogłyby być zaliczone do norm higienicznych.

Wielu badaczy jest zdania, że stany fizjologiczne i patologiczne są ściśle ze sobą związane, będąc składowymi tego samego procesu przystosowawczego. Z reguły pierwsze nadmierne zaburzenia procesów fizjologicznych spowodowane działaniem niekorzystnych warunków mają charakter odwracalny, czynnościowy. Nie zawsze w takich warunkach możliwa jest odpowiedź na pytanie, czy mamy już do czynienia z zakłóceniem zdrowia, czy też jest to chwilowe zaburzenie funkcjonowania organizmu, które ustąpi bez śladu po usunięciu ujemnych wpływów.

Takie rozumienie pojęcia normy powoduje, że granica między stanem „normalnym" a tym, który zaliczamy już do odchyleń od normy, staje się nieuchwytna, a sama norma przeistacza się w pochodną różnych uwarunkowań. Dlatego utożsamianie jej ze średnią statystyczną wszystkich wartości w danej populacji jest niesłuszne. Ważny natomiast będzie zakres możliwych odchyleń od średniej z uwzględnieniem różnych środowisk działalności człowieka. Na przykład przyjmuje się, że liczba erytrocytów we krwi obwodowej winna wynosić 4 500 000 do 5 000 000 w 1 $mm^3$. U ludzi urodzonych i stale mieszkających w górach wartości te są znacznie wyższe dochodząc nawet do 6 000 000—6 500 000 $mm^3$. To pozornie znaczne odchylenie od normy jest dla tych osób wartością normalną, będącą wyrazem przystosowania się do niedotlenienia typowego dla obszarów wysokogórskich. W wa-

runkach tych występuje również zmiana niektórych odruchów, jak np. wydzielanie śliny na widok pokarmu lub wydzielanie soku żołądkowego po dostaniu się pokarmu do żołądka. Zewnętrzne zachowanie się takich osób lub zwierząt nie zmienia się, chociaż odchylenia w odruchach pokarmowych mogłyby świadczyć o zmianie stanu równowagi między procesami pobudzenia i hamowania w ośrodkowym układzie nerwowym. Jest to jednak konieczne dla zachowania ogólnej gotowości do reagowania. Ocena funkcjonowania organizmu w środowisku bytowania lub pracy winna więc uwzględniać rolę poszczególnych odchyleń funkcji wewnątrzustrojowych w danych warunkach, zmienionych w stosunku do optimum. Również norma fizjologiczna winna odzwierciedlać rzeczywisty stan optimum funkcjonowania w konkretnych warunkach, a nie stan optymalny w optymalnym środowisku. Tak więc *normą fizjologiczną* można określić *strefę zmian funkcji wewnątrzustrojowych, w granicach której mieści się optymalna w danych, konkretnych warunkach działalność życiowa organizmu*, czyli *jego zdolność do zachowania życia i zdolność do pracy*.

Powyższa definicja normy fizjologicznej ma istotne znaczenie dla zrozumienia możliwości przystosowawczych organizmów żywych. Określa ona zakres kompensacyjnych możliwości organizmu, zapewniających odpowiedni poziom zdolności do pracy i optymalny czas wypoczynku po pracy. Wynika z niej także wiele wniosków praktycznych, przede wszystkim możliwość określania najlepszego w danych warunkach stanu funkcjonowania. Wskazuje ona ponadto, że w niektórych skrajnie zmienionych warunkach nie może być zachowane optymalne środo-

wisko pracy. Kompensacyjne możliwości człowieka wówczas nie wystarczają. Wskazuje to na konieczność i możliwość ustalenia norm odchyleń czynników środowiska bytowania i pracy, które mieszczą się jeszcze w granicach możliwości kompensacyjnych. Wiadomo na przykład, że proces produkcyjny w hutnictwie wymaga ustawicznego śledzenia przebiegu wytopu. Niezbędne więc jest przebywanie ludzi w bezpośrednim sąsiedztwie pieca, w temperaturze od +50 do +70°C, a czasem nawet jeszcze wyższej. W tych warunkach nie jest możliwa optymalizacja w tym sensie, że będzie się dążyć do obniżenia temperatury zewnętrznej (powietrza). Ze względów technologicznych jest to niewykonalne. Można natomiast normować czas przebywania pracownika w sąsiedztwie pieca. Będą to normy czasu, w których zdolność wysiłkowa pracownika będzie się stopniowo zmniejszać na skutek pojawienia się zaburzeń termoregulacyjnych wewnątrz organizmu. Normy fizjologiczne dla takich warunków mogą być także zmienione, jeśli dotyczyć będą odpowiednio dobranych osób o szczególnie wysokiej tolerancji danych czynników środowiskowych lub poddanych przedtem odpowiedniemu treningowi.

Jednakże dla celów prawnych konieczne jest ustalenie pewnych wartości punktowych, które byłyby podstawą do oceny stanu zagrożenia w praktyce, rozpatrywania roszczeń z powodu uszkodzeń zawodowych zdrowia, ustalania wymagań dla konstrukcji nowych urządzeń i zakładów przemysłowych itp. Takie wartości, mimo że w samym już założeniu przeczą istocie pojęcia normy, są dla większości czynników środowiskowych ustalone i usankcjonowane odpowiednimi aktami prawnymi. Opracowane tabele zawierają najwyższe dopuszczalne intensywności działania poszczególnych czynników środowiskowych, jak np. najwyższe dopuszczalne stę-

Tab. 3

**Bezpieczne i dopuszczalne wartości stężeń substancji chemicznych w powietrzu**

| | Polska | | NRD | | CSRS | | Rumunia | ZSRR | USA | RFN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | NDS | WGS | NDS | DSCH | NDS | WGS | NDS | NDS | NDS | NDS |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Aceton | 200 | 1000 | 1000 | 2000 | 800 | 4000 | 500 | 200 | 2400 | 2400 |
| Akroleina | 0,25 | 0,7 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,7 | 0,25 | 0,25 |
| Alkohol amylowy | 100 | 300 | 100 | 500 | — | — | 200 | 100 | 360 | 360 |
| Alkohol butylowy | 100 | 300 | 200 | 400 | 100 | 200 | 200 | 200 | 300 | 300 |
| Alkohol etylowy | 1000 | 2000 | 1000 | 4000 | 1000 | 5000 | 1000 | 1000 | 1900 | 1900 |
| Alkohol izopropylenowy | 100 | 300 | 200 | 1000 | 500 | 1000 | 500 | 200 | 980 | 980 |
| Alkohol metylowy (S) | 50 | 200 | 100 | 400 | 100 | 500 | 150 | 50 | 260 | 260 |
| Arsen | 0,3 | 0,5 | 0,3 | 0,6 | 0,2 | 1,0 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,5 |
| Arsenowodór | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 0,2 | 1,0 | 0,2 | 0,04 | 0,2 | 0,2 |
| Azotu tlenki jako $NO_2$ | 4 | 9 | 10 | 20 | 35 | — | 10 | 5 | 9 | 9 |
| Benzen (S) | 20 | 80 | 50 | 100 | 50 | 250 | 50 | 20 | 80 | 32 |
| Benzyna | 200 | 500 | 1000 | 2000 | 500 | 2500 | 500 | 100 | 2000 | 2000 |
| Brom | 0,7 | — | 1 | 2,5 | — | — | 1 | — | 0,7 | 0,7 |
| Bromek etylu | 50 | — | 500 | 1000 | — | — | 300 | — | 890 | 890 |
| Bromowodór | 7 | 10 | — | — | — | — | — | — | 17 | 10 |
| Chlor | 1 | 3 | 1 | 3 | 3 | 6 | 1 | 1 | 3 | 1,5 |
| Chlorek etylu | 200 | 2000 | 2000 | 5000 | — | — | 2000 | 50 | 2600 | 2600 |
| Chloroform | 50 | 250 | 200 | 500 | 50 | 250 | 50 | — | 240 | 240 |
| Chlorowodór | 5 | 10 | 10 | 10 | 8 | 16 | 16 | 5 | 7 | 7 |
| Chromiany (S) | 0,01 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,5 |
| Cyjanowodór (S) | 0,3 | 5 | 5 | 10 | 3 | 15 | 0,3 | 0,3 | 5 | 5 |
| Czterochlorek węgla (S) | 20 | 65 | 50 | 100 | — | — | 50 | 20 | 65 | 65 |
| Czterochloroetan (S) | 5 | 35 | 10 | 20 | — | — | 10 | 5 | 35 | 35 |
| Czterochloroetylen (S) | 60 | 300 | 500 | 1500 | — | — | — | 10 | 670 | 670 |

d.c. tab. 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Czteroetylek ołowiu (S) | 0,005 | 0,03 | 0,05 | 0,075 | — | — | 0,01 | 0,005 | 0,075 | 0,075 |
| DDT (S) | 0,1 | 1 | 1 | 1 | — | — | 1 | 0,1 | 1 | 1 |
| Dwuchlorobenzen (S) | 20 | 150 | 150 | 300 | — | — | 50 | 20 | 300 | 300 |
| Dwunitrobenzen (S) | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Dwunitrochlorobenzen (S) | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 5 | — | — | — | — |
| Dwunitrofenol (S) | 0,05 | 0,2 | 0,2 | 0,5 | — | — | 1,0 | 0,05 | — | — |
| Dwunitrotoluen (S) | 1,0 | 1,5 | — | — | — | — | 1,0 | 1,0 | 1,5 | 1,5 |
| Dwusiarczek węgla (S) | 10 | 50 | 50 | 100 | 30 | 150 | 15 | 10 | 60 | 60 |
| Dwutlenek chloru | 0,1 | 0,3 | — | — | — | — | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 0,3 |
| Dwutlenek siarki | 10 | 25 | 10 | 30 | — | — | 10 | 10 | 13 | 13 |
| Dwutlenek węgla | — | — | 9000 | 36000 | 9000 | 45000 | 5000 | — | 9000 | 9000 |
| Eter dwuchlorodwuetylowy | 10 | — | — | — | — | — | 50 | — | — | 90 |
| Eter etylowy | 300 | 1000 | 500 | 2000 | 300 | 1500 | 500 | 300 | 1200 | 1200 |
| Fenol (S) | 5 | 20 | 20 | 20 | 20 | 40 | 5 | 5 | 19 | 19 |
| p-Fenylenodwuamina (S) | 0,1 | — | — | — | — | — | 0,1 | — | 0,1 | 0,1 |
| Fenylohydrazyna | — | — | — | — | — | — | 15 | — | 22 | 22 |
| Fluor | 0,05 | 0,15 | — | — | 0,2 | 0,4 | 0,1 | — | 0,2 | 0,2 |
| Fluorki | 1 | 2,5 | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 1,0 | 2,5 | 2,5 |
| Fluorowodór | 0,5 | 2,0 | 1,0 | 2,0 | — | — | 1,0 | 0,5 | 2,0 | 2,0 |
| Formaldehyd | 1 | 5 | 3 | 3 | 2 | 5 | 3 | 0,5 | 6 | 6 |
| Fosfor | 0,03 | 0,1 | — | — | 0,03 | 0,06 | 0,05 | 0,03 | 0,1 | 0,1 |
| Fosforowodór | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,4 | 0,15 |
| Jod | 1 | — | — | — | — | — | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Jodek metylu | 10 | — | — | — | — | — | 20 | — | 28 | — |
| Kadm. | 0,01 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Kobalt | 0,5 | — | 0,1 | 0,5 | 0,1 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | — | 0,5 |
| Krzemian etylu | 80 | — | — | — | — | — | 800 | — | 850 | 850 |
| Kwas azotowy | 10 | — | 5 | 10 | — | — | 10 | — | 5 | 25 |
| Kwas dwuchlorofenoksyoctowy | 1 | 10 | — | — | — | — | 10 | 1 | 10 | 10 |

d.c. tab. 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kwas octowy | 5 | 25 | 20 | 60 | — | — | 15 | 5 | 25 | 65 |
| Kwas pikrynowy (S) | 0,1 | — | — | — | — | — | 0,1 | — | 0,1 | 0,1 |
| Kwas siarkowy | — | — | 1 | 2 | 0,3 | 0,6 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Krezol (S) | 5 | 20 | 20 | 40 | 20 | 40 | 15 | — | 22 | 22 |
| Miedź r. | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,6 | — | — | 0,1 | — | 0,1 | 0,1 |
| Miedź n. | 1,0 | 3,0 | — | — | — | — | 1,0 | — | 1,0 | 1,0 |
| Molibden r. | — | — | — | — | — | — | 4 | — | 5 | 5 |
| Molibden n. | 4 | — | 10 | 15 | — | — | 8 | 4 | 15 | 15 |
| Monochlorostyren | 50 | — | — | — | — | — | 50 | 6 | — | 480 |
| Metylol | 1000 | — | — | — | — | — | 1500 | 50 | 3100 | — |
| Metylopropyloketon | 100 | — | — | — | — | — | 200 | — | 700 | 700 |
| Nafta | 300 | 1000 | — | — | 500 | 2500 | 500 | 20 | 2000 | — |
| Nikotyna (S) | 0,1 | 0,5 | — | — | — | — | 0,5 | 100 | 0,5 | 0,5 |
| Nitrobenzen (S) | 3 | 5 | 5 | 10 | 5 | 25 | 5 | — | 5 | 5 |
| Octan etylu | 200 | 1000 | — | — | 400 | 2000 | 500 | 3 | 1400 | 1400 |
| Octan metylu | 100 | 500 | 200 | 800 | 200 | 1000 | 200 | 200 | 610 | 610 |
| Ołów | 0,05 | 0,15 | 0,2 | 0,5 | 0,05 | 0,25 | 0,1 | 100 | 0,2 | 0,2 |
| Ozon | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,5 | — | — | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| Pirydyna | 5 | 15 | 10 | 30 | — | — | 5 | 5 | 15 | 15 |
| Rtęć nieorg. (S) | 0,01 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | — | — | 0,5 | — | 0,1 | 0,1 |
| Rtęć org. (S) | 0,005 | 0,01 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,25 | 0,01 | — | 0,01 | 0,01 |
| Selen | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | — | — | 0,2 | — | 0,2 | 0,1 |
| Siarczan dwumetylu | 1 | — | 5 | 10 | — | — | 4 | — | 5 | 5 |
| Siarkowodór | 10 | 15 | 15 | 30 | — | — | 10 | 10 | 15 | 15 |
| Styren | 50 | 200 | 200 | 1000 | 200 | 1000 | 200 | 5 | 210 | 420 |
| Tal | 0,1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Teflon (produkty rozpadu) | 0 | — | — | — | — | — | — | — | 0 | 0 |
| Tellur | 0,01 | — | — | — | — | — | 0,1 | 0,01 | 0,01 | 0,1 |
| Terpentyna | 300 | 500 | 300 | 600 | — | — | 300 | 300 | 560 | 560 |
| Toluen | 100 | 500 | 200 | 800 | 200 | 1000 | 200 | 50 | 750 | 750 |

c.d. tab. 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Toluidyna (S) | 3 | 10 | 10 | 20 | 5 | 25 | 3 | 3 | 22 | 22 |
| Trójchloroetan | 100 | — | 500 | 2000 | — | — | — | — | 1900 | 1080 |
| Trójchloroetylen (S) | 50 | 250 | 250 | 1000 | 250 | 1250 | 50 | 10 | 535 | 260 |
| Trójnitrotoluen (S) | 1 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 0,5 | 1,5 | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 |
| Tytan | 10 | — | — | — | — | — | 10 | 10 | 15 | 15 |
| Uran rozp. | 0,015 | — | 0,05 | 0,05 | — | — | 0,05 | 0,015 | 0,05 | 0,05 |
| Uran nierozp. | 0,075 | — | 0,25 | 0,25 | — | — | 0,25 | 0,1 | 0,25 | 0,25 |

Wartości w tabeli:
Polska — wg projektu przygotowanego przez Instytut Medycyny Pracy w Łodzi
NRD — wg norm z r. 1966 (G. Holstein *Grundriss der Arbeitmedizin*)
CSRS — wg *Permissible levels of toxic substances in working environment* ILO, Geneve 1970
Rumunia — jak wyżej
ZSRR i USA — jak wyżej oraz Auer-Technikum, Berlin, 1970
NRF — jak wyżej oraz wg „Arbeitssicherheit", 6, 1971

Uwaga. W powyższej tabeli podano wartości stężeń substancji chemicznych w powietrzu strefy roboczej, obowiązujące — lub mające obowiązywać — w różnych krajach.

Symbolem „NDS" (najwyższe dopuszczalne stężenie) oznaczono wartości uznane za bezpieczne przy stałej pracy (8 godzin dziennie przez wiele lat); symbolem „WSG" (wartości graniczne stężeń) oznaczono wartości, uznane za dopuszczalne przy ekspozycji okresowej. W Niemieckiej Republice Demokratycznej normy te określono jako „dopuszczalne stężenie szczytowe (chwilowe)"; pod tym symbolem („DSCH") figurują one w tabeli.

Symbol (S) oznacza, że możliwe jest wchłanianie danej substancji przez nie uszkodzoną skórę. Wszystkie wartości — zgodnie z przyjętymi zasadami — podano w miligramach na metr sześcienny powietrza (mg/m³).

żenia szkodliwości chemicznych w powietrzu, dopuszczalne stężenie substancji szkodliwych w materiale biologicznym (krew, mocz, tkanki), najwyższe dopuszczalne normy narażenia na szkodliwości fizyczne itp. (tab. 3). Ze względu jednak na konieczność uwzględnienia w normatywach sytuacji, w których środowisko pracy nie jest optymalne, w wielu krajach wprowadza się normy podwójne — dla ekspozycji ciągłej (8-godzinny dzień pracy) i dla warunków czasowego narażenia. Także w Polsce ostatni projekt norm narażenia na substancje toksyczne ma podwójny układ tabel. Jako najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS) podane są wartości dla zwykłych warunków pracy zawodowej. W razie konieczności pracy w środowisku ekstremalnym, ważność uzyskują normy oznaczone jako wartości graniczne stężeń (WGS), które są dopuszczalne tylko na krótki przeciąg czasu. Wartości te zostały ustalone na podstawie danych o reakcji organizmu człowieka na działanie poszczególnych czynników. Żaden czynnik środowiska pracy nie pozostaje bez wpływu na organizm człowieka, nawet jeśli jego poziom znajduje się w granicach optymalnych. Ustalone wartości norm mają za zadanie obniżyć ten poziom do takiego, który zarówno podczas krótko- jak i długotrwałego oddziaływania (przez cały okres aktywności zawodowej) nie wywołuje niekorzystnych dla zdrowia zmian.

Normy fizjologiczne i higieniczne ustalone są dla populacji przeciętnych pod względem potencjału przystosowawczego i poziomu przystosowania. Nie oznacza to, oczywiście, że człowiek nie może, po uwzględnieniu wstępnego przystosowania oraz zastosowaniu środków ochrony, pracować w środowisku, które charakteryzuje się odchyleniem od normy. W praktyce spotyka się często tego rodzaju sytuacje zarówno w środowisku bytowania, jak też środowisku pracy.

Jednym z przykładów pracy w warunkach odbiegających od optymalnych jest działalność w podwyższonej temperaturze otoczenia. Oczywiście, zmiana mikroklimatu stanowiska roboczego zazwyczaj pociąga za sobą odchylenia i innych parametrów (wilgotności powietrza, jego ruchu itp). Jednakże zmiana temperatury jest uważana za najważniejszy czynnik w tym zespole, odpowiedzialny za zaburzenia w przebiegu procesów fizjologicznych pracującego organizmu.

Dla zrozumienia wpływów warunków mikroklimatycznych należy mieć na uwadze dwie podstawowe właściwości organizmu ludzkiego: organizm człowieka jest stałocieplny, natomiast wszystkie procesy przemiany materii są egzotermiczne, czyli w ich wyniku powstaje ciepło. W całkowitym spoczynku produkcja ciepła wynosi przeciętnie 100 Kcal/h, co wystarcza do podgrzania 1 litra wody o temperaturze 0°C aż do zagotowania. Przy pracy produkcja ciepła wielokrotnie się zwiększa. Nadmiar ciepła musi być usuwany na zewnątrz, aby temperatura wnętrza ciała pozostawała stale w pobliżu 37° C. Odbywa się to za pośrednictwem krwi w dwóch etapach. W pierwszym — ogrzana we wnętrzu ciała krew dopływa do skóry, która jest chłodniejsza. Tam oddaje nadmiar ciepła i ochłodzona wraca do wnętrza ciała. W przeciętnych warunkach mikroklimatycznych utrata ciepła z powierzchni skóry odbywa się poprzez przewodzenie, unoszenie i promieniowanie ciepła oraz parowanie potu. Udział poszczególnych sposobów utraty ciepła uczestniczących w regulacji temperatury ciała jest różny, przy czym największe znaczenie w podwyższonej temperaturze otoczenia ma parowanie potu. Jeżeli występuje równowaga między produkcją ciepła w organizmie a jego odprowadzeniem poprzez skórę,

organizm nie odczuwa wpływu temperatury otoczenia i warunki takie nazywa się termicznie neutralnymi lub komfortowymi. Odchylenia od tych warunków będą odczuwane jako ciepło lub zimno.

Regulacja temperatury wewnętrznej organizmu dokonywana jest za pomocą skomplikowanych mechanizmów, których ośrodek znajduje się w części mózgowia, zwanego podwzgórzem. Przypuszczalnie znajduje się tutaj obszar, którego temperatura jest wzorcem dla reszty ciała. Z tego punktu nastawczego informacje o tym, jaka ma być temperatura wnętrza ciała, dochodzą do podwzgórzowego ośrodka kontroli temperatury. Z kolei ośrodek ten, za pomocą impulsów nerwowych (drogi przesyłania tych impulsów i etapy pośrednie nie są jeszcze w pełni wyjaśnione), przekazuje polecenia do tych narządów i układów, których działalność reguluje produkcję ciepła i jego przekazywanie do naczyń skórnych.

Utrzymywanie stałej temperatury wnętrza ciała, zgodnie z temperaturą punktu nastawczego, odbywa się bardzo sprawnie. Odchylenia są tolerowane tylko w niewielkim zakresie. Podniesienie się temperatury wnętrza ciała człowieka do 42—45°C jest punktem krytycznym, prowadzącym z reguły do śmierci. Następuje ona w wyniku tzw. denaturacji białek komórkowych (nieodwracalnej zmiany struktury przestrzennej cząsteczek białka), rozpadu enzymów lub utraty ich aktywności,. zmian w strukturze fizycznej błon komórkowych oraz zmian lepkości cytoplazmy. Główne czynniki, które mogą spowodować zachwianie równowagi bilansu cieplnego w kierunku przegrzania organizmu, można ująć następująco:

— zmniejszenie oddawania ciepła do otoczenia: zahamowanie czynności gruczołów potowych lub wrodzony niedorozwój tych gruczo-

łów, niedostateczny przepływ krwi przez naczynia skórne, wysoka temperatura otoczenia, wysoka wilgotność otoczenia utrudniająca parowanie potu;

— zwiększenie dopływu ciepła z otoczenia: pochłanianie energii promieni cieplnych, temperatura powietrza przekraczająca temperaturę skóry;

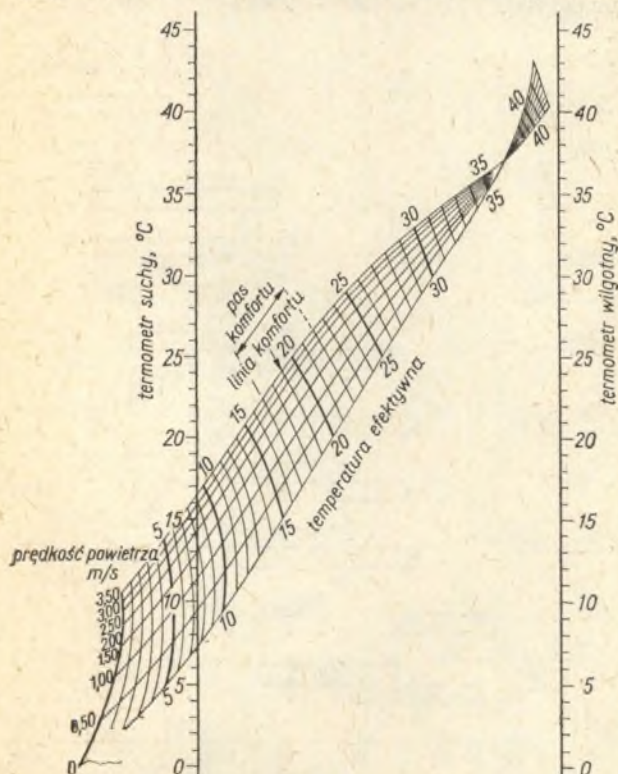
— zaburzenia pracy punktu nastawczego lub jego współdziałania z ośrodkiem kontroli temperatury: uszkodzenie mózgowia, choroby infekcyjne.

Jeżeli chodzi o wpływ temperatury otoczenia na organizm człowieka, jednym z głównych problemów jest określenie temperatury optymalnej. Nie jest to jednak możliwe dla wszystkich rodzajów i warunków pracy. Temperatura optymalna będzie zależeć przede wszystkim od produkcji ciepła i od ubioru osoby pracującej. Na przykład człowiek nieubrany siedząc produkuje około 100 Kcal/h, chodząc — około 200 Kcal/h, a wchodząc po schodach — około 350 Kcal/h. Przyjmując mały ruch powietrza i średnią jego wilgotność, dla pierwszego przypadku temperatura optymalna będzie wynosić około 30°C, dla drugiego 25°C, a dla trzeciego 20°C. Ubiór dodatkowo wpływa na obniżenie optymalnej temperatury otoczenia z uwagi na swoją właściwość utrudniania oddawania ciepła na zewnątrz.

Oprócz wymienionych czynników, na poziom temperatury optymalnej będą miały wpływ wilgotność i ruch powietrza. Duża wilgotność powietrza utrudnia przechodzenie pary wodnej do otoczenia, uniemożliwiając odparowanie potu. Z kolei, ruch powietrza unosi ciepło z powierzchni skóry. Zjawisko to występuje jednak tylko w temperaturach powietrza nie przekraczających temperatury skóry. Wyższa temperatura powietrza nie daje efektu ochładzającego.

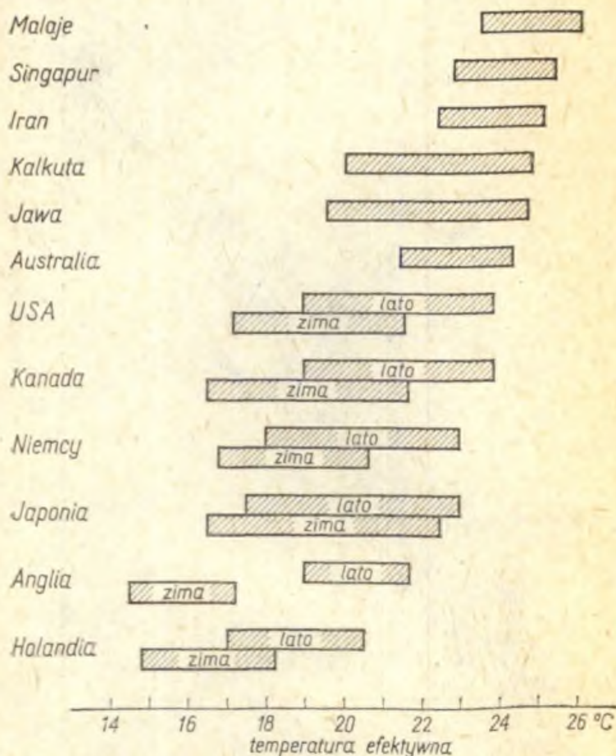
Ruch takiego powietrza raczej dodatkowo ogrzewa ciało utrudniając oddawanie ciepła.

Od dawna starano się ustalić wspólny wskaźnik dla najważniejszych parametrów mikroklimatu — temperatury, wilgotności i ruchu powietrza. Jedne z pierwszych badań, przeprowadzonych jeszcze w latach dwudziestych bieżącego stulecia przez C. P. Yaglou, dotyczyły subiektywnych odczuć wpływu różnych kombinacji parametrów mikroklimatu. Wyniki tych ba-




Rys. 3. Skala temperatur efektywnych dla ludzi przebywających w spoczynku lub wykonujących lekką pracę. Ubiór zwykły.

dań wykazały, że subiektywne odczucia identyczności działania mikroklimatu są bardzo zróżnicowane (rys. 3). Opierając się na wynikach tych badań, Yaglou ustalił skalę tzw. temperatur efektywnych, będących tym oczekiwanym sumarycznym wskaźnikiem działania mikroklimatu. Trzeba przyznać, że mimo różnych prób znalezienia innych wskaźników, skala temperatur efektywnych pozostała najbardziej rozpowszechniona i najbardziej przydatna w praktyce.




Rys. 4. Zakres skali komfortu w zależności od strefy klimatycznej (wg Wenzela).

Oczywiście nie jest ona idealna i może dawać mylne wartości, zwłaszcza przy dużych odchyleniach od optymalnych poziomów parametrów mikroklimatycznych. Zgodność jej z wynikami badań dużych populacji świadczy, że jest ona ważna tylko dla około 70% wszystkich osób. Pozostałe 30% wykazuje odchylenia w odczuwaniu zimna lub ciepła. Duży wpływ ma tu stopień przystosowania do warunków klimatycznych panujących w danym rejonie. Ilustrują to dane, zestawione przez Wenzela dla osób z różnych stref klimatycznych, gdzie różnice w odczuwaniu komfortu termicznego przez osoby będące w spoczynku i ubrane w przeciętny strój są dość znaczne (rys. 4).

Warunki optymalne dla osób pracujących będą oczywiście inne niż dla osób pozostających w spoczynku. Tutaj są także duże różnice między opiniami różnych autorów. Na przykład Etienne Grandjean proponuje dla osób ciężko pracujących fizycznie temperaturę 15 do 16°C, H. Recknagel i E. Sprenger — temperaturę pomieszczenia 10 do 12°C, a S. A. Czabazjan — temperaturę 8°C. Zwierzęta laboratoryjne najlepiej się czują i najłatwiej utrzymują stałą temperaturę ciała w środowisku 16—22°C i wilgotności względnej 60%. W temperaturze 38°C i wilgotności względnej 20% wszystkie myszy ginęły w ciągu 3 godzin.

Innym przykładem działalności zawodowej człowieka w niekorzystnych warunkach może być jego praca w środowisku podwodnym. Morza i oceany stanowią około 71% powierzchni kuli ziemskiej, nic więc dziwnego, że coraz częściej człowiek stara się wykorzystać je jako teren swej aktywności. Prace podwodne — zwykłe nurkowanie, praca w kesonach, nurkowanie w oprzyrządowaniu itp. — obejmują coraz większe i na coraz większej głębokości położone obszary. Płetwonurkowie coraz powszechniej za-

trudnieni są w podwodnych pracach poszukiwawczych, przy znakowaniu przeszkód i kontroli urządzeń podwodnych (zapory, hydroelektrownie) itp.

Najważniejszym czynnikiem środowiska pracy nurka jest ciśnienie hydrostatyczne wody. Ze wzrostem głębokości podwyższa się ono średnio o 1 atmosferę na każde 10 metrów głębokości. Nurek na głębokości 25 m poddany jest więc ciśnieniu 2,5 atn (atmosfery nadciśnienia), czyli 3,5 ata (atmosfery absolutnej), która jest sumą ciśnienia atmosferycznego i hydrostatycznego. Aby móc oddychać, nurek na tej głębokości musi otrzymać sprężone powietrze pod ciśnieniem 3,5 ata, które się przenosi na wszystkie tkanki w całym organizmie.

Wpływ zwiększonego ciśnienia środowiskowego, zwany hiperbarią, stanowi wspólną cechę wszystkich form nurkowania i odróżnia nurkowanie od innych sposobów przebywania pod wodą: w batyskafie, okręcie podwodnym, zamkniętym pojemniku obserwacyjnym, sztywnym skafandrze itp. W tych ostatnich wypadkach powłoka urządzeń i obiektów chroni człowieka przed wpływem ciśnienia hydrostatycznego, umożliwiając mu przebywanie w warunkach ciśnienia normalnego.

Poza ciśnieniem hydrostatycznym również i inne czynniki środowiska podwodnego mogą być dla nurka uciążliwe, a nawet niebezpieczne. Należą tu: temperatura wody, izolacja psychiczna nurka i ograniczenie widzialności. Ponadto, niebezpieczne mogą być niektóre organizmy żywe, typowe dla środowiska podwodnego, zwłaszcza niektóre gatunki ryb.

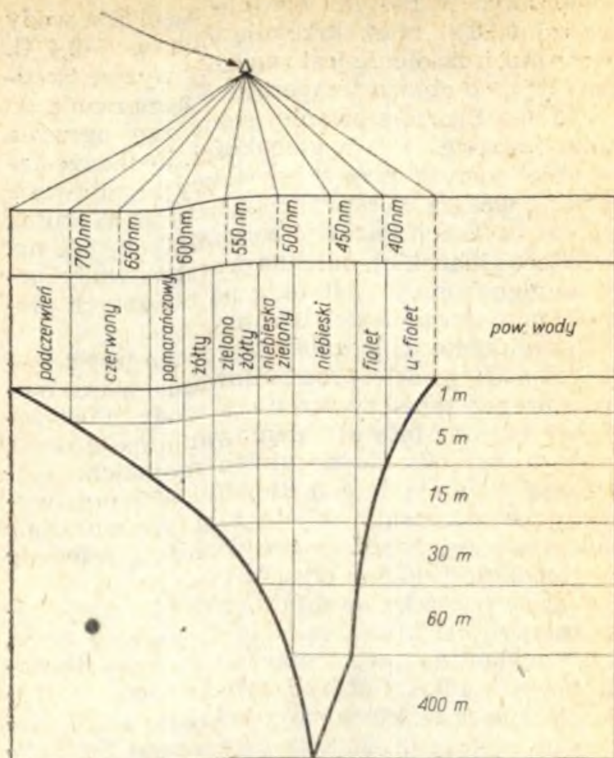
Temperatura w warstwie powierzchniowej oceanów i mórz waha się od $-2°C$ w strefie polarnej do $+35°C$ w strefie równikowej. Minusowe temperatury strefy polarnej pochodzą stąd, że zasolenie wody obniża temperaturę jej

zamarzania. W Bałtyku średnie zasolenie wody wynosi 0,78%, toteż krzepnie ona w −0,4°C. W oceanach zasolenie jest znacznie wyższe (średnio 3,5%), co obniża temperaturę zamarzania do −1,91°C. Promieniowanie słoneczne ogrzewa tylko warstwę do 1 m głębokości. Jednakże falowanie wody i prądy konwekcyjne mieszają ogrzaną wodę z warstwami głębszymi. Wskutek tego w basenach bardziej zamkniętych, jak np. w Zatoce Gdańskiej, ogrzana warstwa wody sięga do głębokości 20—40 m, a na otwartych morzach przekracza nawet 100 m.

Ograniczenie widoczności związane jest z wygasaniem w wodzie promieniowania widzialnego oraz z zanieczyszczeniem wody. Poszczególnej długości fale promieniowania mają różną zdolność przenikania do głębin morskich. Największą — mają fale o długości 470 nm, występujące w pasmie niebieskim widma. Fale podczerwone i pozafiołkowe docierają zaledwie na głębokość 1 do 5 m (rys. 5).

Wbrew pozorom, spośród fauny morskiej najgroźniejsze dla nurka są małe organizmy żywe. Ryby, zwłaszcza duże drapieżne, spotyka się stosunkowo rzadko. Spośród ryb szczególnie niebezpieczne są te, które mają jadowite kolce. Należą do nich m.in. ząkwa (*Scorpaena* Sp.), cyrulik (*Acanthurus* Sp.), skrzydlica (*Pterois* SP.) i szkaradnica (*Synanceja* Sp.), należąca do najbardziej jadowitych stworzeń żyjących. Jamochłony, a zwłaszcza meduzy kostkowe (*Cubomedusae*) i rurkopławy (*Siphonophora*), powodują przy dotknięciu oparzenia i silny ból, który może być przyczyną utraty przytomności nurka.

Spośród wszystkich czynników charakteryzujących środowisko podwodne największe znaczenie przypisuje się jednak ciśnieniu hydrostatycznemu. Jego wpływ łączy się z fizycznym oddziaływaniem na organizm człowieka, a zwła-




Rys. 5. Wygasanie w wodzie promieniowania widzialnego według długości fal (w nanometrach) i odpowiadających im barw.

szcza na gazy zawarte w płucach i innych wolnych przestrzeniach ciała oraz rozpuszczone w tkankach. Aby umożliwić nurkowi pobyt pod wodą, hiperbaria musi zostać zrównoważona. W przeciwnym wypadku powstaje wiele zaburzeń procesów wewnątrzustrojowych przejawiających się zmniejszeniem częstości tętna i obniżeniem ciśnienia tętniczego, pogorszeniem wentylacji płuc i podwyższeniem poziomu $CO_2$ w

tkankach i we krwi, upośledzeniem wytwarzania niektórych postaci krwinek białych (eozynofile i monocyty), obniżeniem odporności na choroby zakaźne i niezakaźne, osłabieniem widzenia lub nawet uszkodzeniem narządu wzroku itp. Mechanizm powstawania tych zaburzeń wiąże się z występującymi w hiperbarii: zwiększoną gęstością powietrza lub mieszaniny gazowej, uwalnianiem gazów rozpuszczonych w tkankach i płynach ustrojowych oraz z toksycznym (w podwyższonym ciśnieniu) wpływem gazów, które w zwykłych warunkach są fizjologicznie obojętne. Ten ostatni wpływ uwidacznia się zwłaszcza w pracy ośrodkowego układu nerwowego, wywołując objawy stopniowo narastającej senności z halucynacjami, poprzedzone objawami euforii. Wpływ narkotyczny gazów obojętnych dla zdrowia w warunkach normalnych jest wprost proporcjonalny do ciśnienia tych gazów w otoczeniu i zależy od ich rodzaju (współczynnika rozpuszczalności w tłuszczach).

Poglądy na temat możliwości przebywania i pracy człowieka w środowisku podwodnym, ugruntowane wieloletnimi wynikami obserwacji i badań zachowania się nurków, musiały zostać zmienione w ostatnim piętnastoleciu. W 1962 r. J. Y. Cousteau przeprowadził w okolicy Marsylii pierwsze próby długotrwałego przebywania pod wodą. W dużym metalowym cylindrze o wymiarach 5×2,4 m przebywało dwóch nurków przez 7 dni. Oddychając sprężonym powietrzem o ciśnieniu 2 ata, nurkowie ci wykonywali różne prace, okresowo opuszczając nawet swe pomieszczenie. W tym samym mniej więcej czasie inny badacz, E. A. Link, przeprowadził udaną próbę zanurzenia nurka na głębokość 60 m w otwartym cylindrze metalowym na przeciąg 24 godzin. Mieszanka gazowa, którą

nurek oddychał w czasie eksperymentu, zawierała 3% tlenu rozpuszczonego w helu.

Te pierwsze próby, potwierdzające możliwości długotrwałego przebywania i pracy pod wodą, zapoczątkowały serię badań akwanautycznych prowadzonych w wielu różnych krajach. Udowodniono możliwość wielodniowego przebywania w środowisku podwodnym nawet na głębokości ponad 200 m. Swoistym rekordem były przeprowadzone w maju i czerwcu 1968 r. badania francusko-niemieckie na głębokości 300 do 394 m. Tak więc należy przyjąć, że po odpowiednim przystosowaniu człowiek może przebywać w ciśnieniu znacznie przekraczającym atmosferyczne bez dodatkowego zabezpieczenia sztywnym skafandrem lub batyskafem. Cechą charakterystyczną przebywania w tych warunkach jest to, że świadomie dopuszcza się do nasycenia organizmu nurka mieszaniną tych gazów, które dostarcza się mu do oddychania. Odpowiedni dobór tej mieszaniny jest jednak szczególnie ważny, aby zapobiec toksycznemu działaniu zawartych w niej składników. Mieszaniny tlenowo-azotowe nie nadają się do tego, ustępując miejsca innym kombinacjom, przeważnie zawierającym hel zamiast azotu.

W ostatnim piętnastoleciu coraz szerzej eksplorowanym obszarem działalności człowieka jest środowisko kosmiczne. Czynniki występujące w locie kosmicznym są szczególnie niesprzyjające życiu i pracy człowieka. Na Ziemi atmosfera chroni nas i inne organizmy żywe przed działaniem niesprzyjających czynników, jak np. bardzo wysoka lub niska temperatura, promienie kosmiczne itp. W przestrzeni kosmicznej praktycznie nie ma atmosfery gazowej w rozumieniu ziemskim. Brak odpowiedniego ciśnienia ogólnego i ciśnienia cząstkowego tlenu oraz pary wodnej uniemożliwia życie form ziemskich.

Zbudowanie statków kosmicznych, w których

zabierana jest w podróż kosmiczną cząstka atmosfery otaczającej naszą planetę, umożliwiło człowiekowi penetrację także przestrzeni pozaziemskiej. Niemniej lot w statku stworzył z kolei nowe problemy. Kosmonauta — okresowo lub przez cały czas lotu — jest pod działaniem czynników nie spotykanych w takich rozmiarach na Ziemi lub nawet w ogóle nie znanych. Ze względu na czas ich działania dzieli się je na czynniki startu i lądowania statku, inaczej — czynnej fazy lotu oraz towarzyszące podróży w przestrzeni kosmicznej, czyli czynniki fazy biernej lotu.

Start i lądowanie trwają stosunkowo krótko, niemniej towarzyszące im zjawiska osiągają poziom wyjątkowo wysoki. Przy starcie najwięcej dają znać o sobie przyspieszenie i hałas. Przyspieszenie może osiągać 4 do 5 g (g = poziom przyspieszenia ziemskiego = 981 cm/s$^2$), utrzymując się na tym poziomie przez cały czas startu, który trwa 5 do 7 minut. Hałas jest mniej uciążliwy, gdyż jego działanie jest największe w momencie bezpośredniego odrywania się rakiety od platformy startowej. Jednakże jego natężenie w bezpośrednim sąsiedztwie statku osiąga wtedy wartość 120 do 130 dB, uważaną za wystarczającą, by mechanicznie uszkodzić narząd słuchu.

Lądowanie statku kosmicznego jest, podobnie jak start, połączone z działaniem przyspieszeń, które mają tu odwrotny znak, czyli występują jako siły hamujące lot statku. Ich wartość zależy od stopnia dostosowania kształtu statku kosmicznego do praw aerodynamicznych. Dotychczas zmierzone wartości dochodzą do 12 g, działają jednak w stosunkowo krótkim czasie. Przeciętny poziom przyspieszeń podczas lądowania nie przekracza średnio wartości 3 do 4 g. W fazie lądowania bardzo silnie natomiast nagrzewają się ściany statku. Jest to skutek tar-

cia, powstającego podczas przechodzenia statku przez gęste warstwy atmosfery. Temperatura zewnętrznych jego powłok może osiągać ponad 3000°C. W niekorzystnych okolicznościach nagrzewa się wtedy nadmiernie również wnętrze statku, jednakże zazwyczaj zapobiegają temu urządzenia izolacyjne.

Znacznie istotniejsza od fazy czynnej jest dla życia i pracy kosmonauty bierna faza lotu, ponieważ trwa stosunkowo długo. Faza czynna zazwyczaj nie przekracza kilkunastu minut (lądowanie), podczas gdy w fazie biernej kosmonauci przebywali już po kilka tygodni, a najbliższe plany przewidują wielomiesięczną pracę ludzi w orbitalnych stacjach kosmicznych.

Czynniki charakteryzujące fazę bierną lotu można podzielić na te, które związane są z właściwościami przestrzeni kosmicznej, oraz te, które wynikają z przebywania w czasie lotu w niewielkich pomieszczeniach statku kosmicznego. Do pierwszej grupy zalicza się promieniowanie jonizujące, promieniowanie ultrafioletowe i podczerwone Słońca, możliwość kolizji z meteorem, nieważkość i utratę szczelności statku. Druga grupa — to ograniczenie przestrzeni, izolacja psychiczna, specyfika żywienia, zmiana rytmu dobowego, ewentualna zmiana warunków mikroklimatycznych w statku itp.

Wśród czynników przestrzeni kosmicznej bezsprzecznie najważniejsze są promieniowanie jonizujące (kosmiczne) oraz nieważkość. Przeciwko działaniu obu tych czynników nie opracowano jak dotąd środków ochronnych możliwych do zastosowania w czasie podróży kosmicznej. Oba te czynniki natomiast tworzą stałe tło środowiska kosmicznego.

Promieniowanie kosmiczne nie jest jednolite, lecz zawiera różne rodzaje promieni (tab. 4). Główny trzon tego promieniowania stanowią nuklidy — różne cząstki wchodzące w skład ją-

Tab. 4
**Składowe promieniowania kosmicznego**
(wg P. R. Tobiasa)

| Rodzaj promieni | Charakter promieniowania | Ładunek | Źródło |
|---|---|---|---|
| Fotony | elektromagnetyczne | 0 | pierścienie promieniowania, promieniowanie słoneczne |
| Promienie Roentgena | elektromagnetyczne | 0 | pierścienie promieniowania, promieniowanie słoneczne |
| Promienie gamma | elektromagnetyczne | 0 | pierścienie promieniowania, promieniowanie słoneczne |
| Elektrony | korpuskularne | −1e | pierścienie promieniowania |
| Protony | korpuskularne | +1e | promieniowanie galaktyczne, promieniowanie słoneczne, wewnętrzny pierścień promieniowania |
| Neutrony | korpuskularne | 0 | promieniowanie słoneczne, otoczenie planet |
| Cząstki alfa | korpuskularne | +2e | promieniowanie galaktyczne |
| Cząstki beta | korpuskularne | ±1e | promieniowanie galaktyczne |
| Wyższe nuklidy (jądra o większej masie) | korpuskularne | ±3e | promieniowanie galaktyczne |

dra atomowego, i elektrony. Większe nuklidy stanowią zaledwie około 3% widma, lecz pod względem oddziaływania biologicznego są najgroźniejsze. Mając dużą średnicę i dużą energię kinetyczną, tworzą one tzw. długi tor jonizacji (czyli przenikają głęboko w tkanki). Promieniowanie elektromagnetyczne (fotony, promienie Roentgena, promienie gamma) jest głównym składnikiem pierścieni promieniowania, odkrytych przez Jamesa A. Van Allena i S. N. Wiernowa. Jest ich dwa i otaczają Ziemie: we-

wnętrzny — na wysokości 400 do 4500 km, i zewnętrzny — na wysokości 13 000 do 50 000 km.

Energia kinetyczna poszczególnych rodzajów promieniowania jest bardzo różna. W obrębie pierścieni ma ono stosunkowo małą energię, lecz jego intensywność jest tam duża. Przejście przez oba pierścienie może przy obecnej konstrukcji statków spowodować napromienienie do 200 r/h. Promieniowanie słoneczne i galaktyczne cechuje duża energia kinetyczna, sięgająca $10^{20}$ elektronowoltów. Jednakże jego intensywność jest mała, niebezpieczeństwo napromieniowania nie przekracza dawki 5 do 12 r/rok, pod warunkiem, że nie wystąpią w tym czasie rozbłyski w chromosferze Słońca. Rozbłyski te, podczas których wyrzucone zostają w przestrzeń międzyplanetarną olbrzymie masy cząstek jąder atomów, zwiększają niebezpieczeństwo napromienienia od 10 do 1000 r/h. Ta maksymalna wartość jest dla człowieka dawką śmiertelną w 100% przypadków.

Nieważkość jest stanem, którego wpływ na organizmy żywe nie został jeszcze dostatecznie poznany. Wiadomo, że w tym stanie znikają opory związane z „ciężarem" poszczególnych części ciała. Zniesienie ciśnienia hydrostatycznego krwi zmniejsza opory w układzie krążenia, ułatwiając pracę serca. Mniejsze obciążenie mięśni (ciężar podnoszonych przedmiotów i ciała znika) zmniejsza zapotrzebowanie na siłę i ma destrukcyjny wpływ na strukturę kości. Występują wtedy objawy podobne do tych, jakie obserwuje się podczas długotrwałego przebywania w łóżku. Doświadczalnie stwierdzono, że nieważkość wywołuje rozległe zmiany przystosowawcze w organizmie. Nie jest to więc uszkodzenie. Niemniej po długotrwałym pobycie w przestrzeni kosmicznej utrudnia to ponowne szybkie przystosowanie się kosmonautów do warunków ziemskiej grawitacji.

Biorąc pod uwagę wszystkie czynniki, które tworzą środowisko i warunki przebywania w statku kosmicznym, należy stwierdzić, że odbiegają one daleko od spotykanych na Ziemi w najbardziej nawet ekstremalnych sytuacjach. Niemniej nawet do nich organizm człowieka może się dostosować, pod warunkiem stworzenia mu pewnych udogodnień w statku kosmicznym. Świadczy to o dużych i nie docenianych do niedawna możliwościach przystosowawczych organizmu ludzkiego. Te możliwości pozwalają człowiekowi żyć i pracować w bardzo różnorodnych sytuacjach, w warunkach dalekich od optymalnych, a więc — w środowisku ekstremalnym.

# 3 GRANICE TOLERANCJI

Rozwój człowieka, nawet w najbardziej dla niego optymalnym środowisku życiowym, odbywa się w ustawicznych zmaganiach z siłami przyrody. W tej ciągłej walce o życie człowiek kształcił i usprawniał swoje wewnątrzustrojowe mechanizmy przystosowawcze, które pozwoliły mu przebywać w różnych, mniej korzystnych fizjologicznie warunkach. Przykłady tego spotykane są szeroko w różnych strefach geograficznych, gdzie panują warunki dalekie od optymalnych. Na przykład tubylcy australijscy z okolic Alice Springs (Centralna Australia) nie używają niemal żadnego okrycia ciała żyjąc na obszarach, gdzie panują temperatury od $-4°C$ do $+37°C$. Tę zadziwiającą odporność zawdzięczają specyficznym mechanizmom termoregulacyjnym. U ludzi tych, w odróżnieniu od Europejczyków, wykształciła się w procesie rozwojowym bardzo duża wrażliwość naczyń krwionośnych na zimno. W rezultacie, w czasie snu, temperatura ich skóry dostosowuje się do chłodu nocy, spadając do 27—28°C. Stwierdzono u nich także zależność tętna od temperatury skóry — obniżenie temperatury skóry do 30°C powodowało czterokrotne zmniejszenie amplitudy tętna. Cieplne przewodnictwo skóry jest u Austra-

lijczyków o 30% mniejsze niż u Europejczyków, mimo znacznie słabiej rozwiniętej podskórnej tkanki tłuszczowej. Jeszcze cieńszą podskórną tkankę tłuszczową mają Buszmeni z Pustyni Kalahari (Afryka Południowo-Zachodnia). U osób w wieku od 30 do 40 lat stanowi ona 7,7% całkowitego ciężaru ciała, podczas gdy u Australijczyków — około 17,3%, a u Europejczyków około 22%. Mimo to Buszmenów cechuje znacznie większa zdolność zatrzymywania ciepła przez skórę. Mimo braku ubioru, mogą wskutek tego bez trudu wytrzymywać chłód nocy na pustyni, gdzie w lipcu temperatura spada do 3—5°C.

Dzisiaj, dzięki rozwojowi techniki, człowiek nie musi już mobilizować całego swego potencjału przystosowawczego przenosząc się w warunki, dotychczas przez niego nie znane. Może korzystać z indywidualnych i zbiorowych osłon, które zabezpieczają go przed ujemnymi wpływami otoczenia. Jednakże potencjał przystosowawczy człowieka, wykształcony na przestrzeni wielu tysięcy lat rozwoju jego gatunku, w niektórych sytuacjach jest mu dzisiaj także potrzebny. Najczęściej spotykamy się z koniecznością maksymalnego wykorzystania możliwości znoszenia obciążeń, które np. w treningu sportowym znacznie przekraczają intensywnością poziom „normalny", w codziennym wydaniu. Chodzi tu bowiem nie tylko o pokrycie tzw. zapotrzebowania wysiłkowego na energię pracy, sprawność ruchów, ich koordynację i siłę itp., lecz także przystosowanie organizmu do warunków, w których dana praca jest wykonywana (długotrwałość, tempo, współdziałanie z innymi czynnikami środowiskowymi itp.). Wyczyny sportowców wymagają zaangażowania maksymalnych możliwości organizmu. Na przykład świetny sztangista radziecki, Wasilij Aleksiejew, ponad siedemdziesiątkrotnie pobijał rekordy

świata, w tym także własne, ustanowione wcześniej. W jednym podrzucie uzyskiwał wynik prawie ćwierć tony! W czasie dwugodzinnego treningu nie należy do wyjątków podniesienie przez sportowca ciężaru, wynoszącego w sumie dziesięć i więcej ton. Przepłynięcie kanału La Manche wymaga nie tylko olbrzymiego, długotrwałego wysiłku fizycznego, lecz także znoszenia niskiej temperatury wody (16—19°C lub mniej) w ciągu kilkunastu godzin, podczas gdy — jak wiadomo — rozbitkowie giną niemal z reguły po 4 godzinach przebywania w wodzie o temperaturze 15°C z powodu nadmiernej utraty ciepła przez organizm.

Rozwój techniki, który umożliwił człowiekowi opanowanie nowych, dawniej niedostępnych środowisk, spowodował przesunięcie granic jego działalności daleko poza tradycyjne obszary biosfery. Rozwój kosmonautyki pozwolił ludziom przebywać przez wiele tygodni w przestrzeni kosmicznej w odległości ponad 200 km od powierzchni Ziemi, a w lipcu 1969 r. Neil Armstrong i Edwin Aldrin jako pierwsi przedstawiciele gatunku *Homo sapiens* postawili stopy na Księżycu odległym od Ziemi o 380 000 km. Statki głębinowe — batyskafy — pozwoliły człowiekowi już w 1960 r. opuścić się na 10 720 m w głąb oceanu, gdzie ciśnienie hydrostatyczne wynosi prawie 1100 atmosfer.

Musimy jednak zdawać sobie sprawę z tego, że działalność człowieka, która ma służyć polepszeniu warunków jego bytowania i pracy, stworzyła również nowe okoliczności. Powstanie i rozwój elektroniki doprowadziły do tego, że szybkość przetwarzania informacji przez aktualnie używaną aparaturę przekracza możliwości psychiczne człowieka w tej dziedzinie. Musi on dokonywać uproszczeń kodowych, aby docierały do niego już tylko te najniezbędniejsze, końcowe informacje, które potrafi przyswoić

i dalej wykorzystać. Umożliwiając wykraczanie poza tradycyjną biosferę i poza tradycyjne granice sprawności psychicznej, postęp techniki zwiększył równocześnie wymagania wobec osób, które się nią posługują. Na przykład, rozwój lotnictwa, który uczynił realne podróże międzykontynentalne, a nawet dookoła Ziemi (z uzupełnianiem zapasów paliwa bez konieczności lądowania), spowodował także konieczność stworzenia i udoskonalenia urządzeń sterujących takimi lotami. Kabina pilotów współczesnego samolotu pasażerskiego jest wyposażona w mnóstwo przyrządów pomiarowych i kontrolnych, których znajomość wymaga dodatkowego szkolenia załogi. Co więcej — techniczne możliwości współczesnych samolotów nie zawsze mogą być w pełni wykorzystane, gdyż przekraczają możliwości sprawowania nad nimi kontroli przez człowieka. Dotyczy to zwłaszcza ich zwrotności, czyli szybkości zmiany kierunku lotu, kiedy wzrasta przeyspieszenie. Piloci wojskowi często przeżywają chwile tzw. ściemnienia pola widzenia, a nawet całkowitej utraty zdolności widzenia w czasie wykonywania zbyt szybkiego zwrotu samolotem.

Rozwój środków chroniących nas przed ujemnymi wpływami skrajnie zmienionych warunków otoczenia spowodował przesunięcie się zakresu działalności człowieka w sferę jego psychiki. Zanurzając się batyskafem w oceany na olbrzymią głębokość, lecąc w przestrzeni kosmicznej w kierunku Księżyca, pracując w stacji meteorologicznej na Antarktydzie lub nawet wchodząc do zamrażalni przetwórstwa owocowego (gdzie panują temperatury poniżej −35°C), człowiek jest odpowiednio chroniony ubiorem lub urządzeniami, które zmniejszają ujemny wpływ otoczenia lub nawet go całkowicie eliminują. Ich usunięcie powoduje zwykle ciężkie uszkodzenie zdrowia, a nawet śmierć.

Sytuacja przypomina więc przemierzający burzliwy ocean kuter rybacki, którego załoga nie umie pływać. Póki kuter jest sprawny, niewielkie niebezpieczeństwo grozi marynarzom, lecz z chwilą gdy zostanie uszkodzony, załoga w krótkim czasie ginie. Jednakże, jak wykazuje statystyka, nie giną wszyscy bez wyjątku. Ratują się nawet ci, którzy nie umieją pływać. Sprawność fizyczna, wysoki poziom tolerancji wpływu niskiej temperatury wody, odporność na głód i pragnienie oraz sprzyjające okoliczności w postaci łodzi, koła ratunkowego lub prowizorycznej tratwy pozwoliły wielu rozbitkom przetrwać w tak niekorzystnych warunkach aż do czasu ich odnalezienia. Decydują w tych przypadkach rezerwy wydolnościowe, czyli zdolność organizmu do trwania na granicy tolerancji intensywnego oddziaływania czynników ujemnych. I trzeba tu podkreślić, że organizm człowieka ma zadziwiająco szerokie granice tej tolerancji. Największe możliwości, zarówno uwarunkowane genetycznie, jak i te, które związane są z osobniczym kształceniem mechanizmów tolerancji, dotyczą czynników fizycznych, a zwłaszcza klimatycznych. Z nimi bowiem organizm człowieka styka się od chwili powstania naszego gatunku. Odporność na zmienne wpływy klimatyczne była warunkiem przetrwania. Podobnie, organizm człowieka ma duży potencjał przystosowawczy do pracy, zwłaszcza fizycznej. Mimo powstających w tym czasie zmian w procesach przemiany materii, uwalnianiu do tkanek i krwi pośrednich, często szkodliwych w nadmiarze produktów tej przemiany, zaburzeń środowiska wewnętrznego, a zwłaszcza temperatury wnętrza ciała (może ona w tym czasie wzrosnąć do około 39°C), po przerwaniu pracy wszystkie procesy wracają zazwyczaj do poziomu wyjściowego, nie pozostawiając trwałych następstw ujemnych. Jest to

także czynnik, który umożliwiał nas
tunkowi przetrwanie w walce o byt. I
wy, a szczególnie te, które się pojawił
kowo bardzo niedawno, jak np. zanie
nia chemiczne związane z rozwojem
i technologii, są przez człowieka znoszc
nie gorzej. Przeciwdziałanie im byłob
bardzo trudne, gdyby nie możliwość
stania przez organizm mechanizmów k
cyjnych, wykształconych w odpowiedz
łanie innych czynników.

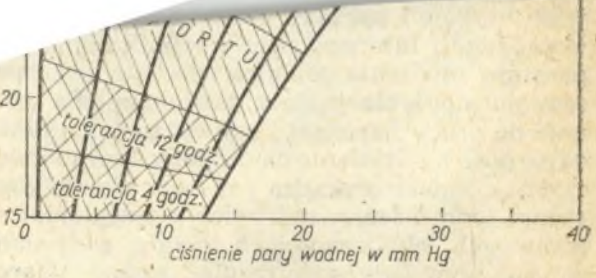
W badaniu tolerancji czynników k
nych największą uwagę zwrócono na
raturę otoczenia. Jej zmiany
układ termoregulacyjny, który jest
mechanizmów utrzymujących wewnęt
peraturę ciała na stałym poziomie. W
tym można wyróżnić składniki typowe
dego systemu łączności ze światem
nym i reagowania na bodźce otoczen
więc receptory, rejestrujące wysokość
cej temperatury, ośrodki termoregulac
gowiu oraz narządy wykonawcze —
których czynność jest odpowiedzią n
termiczny.

Głównym procesem termoregulacy
działalność wspomnianego już ośrodk
regulacji, umiejscowionego w podwzg
mo prawie sto lat trwających badań
lizacją i funkcją tego ośrodka, nadal
dalecy od wyjaśnienia tych zagadnie
już jednak, że ośrodek ten składa się (p
dem funkcji) z dwóch części. Jedna k
akcjami zwiększającymi wydalanie
przypadku podwyższania się tempera
(np. pod wpływem upału), druga —
— przeciwdziała wydalaniu ciepła z o
i zwiększa jego wytwarzanie. To czyn
zróżnicowanie ma swoje odbicie także
micznej lokalizacji, przy czym ośrode

ciepła" leży w przedniej, natomiast ośrodek „zachowania ciepła" — w tylnej części podwzgórza. Centralną działalnością termoregulacyjna steruje dotąd jeszcze nie wyjaśniony mechanizm, który nazywany jest punktem odniesienia (nastawienia, *set point*). Temperatura tego „punktu" stanowi wzorzec, według którego regulowana jest cała temperatura wewnętrzna ciała.

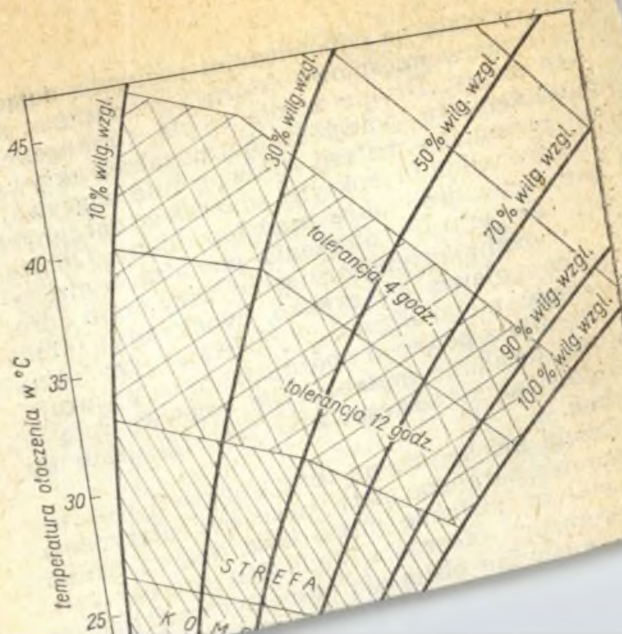
Podwyższenie temperatury otoczenia uruchamia reakcje, których celem jest usunięcie nagromadzonej w tych warunkach wewnątrzustrojowej energii cieplnej. Taką właśnie reakcją jest przede wszystkim zwiększony przepływ krwi przez naczynia krwionośne skóry oraz pocenie się. Nasilenie tych reakcji jest proporcjonalne do wzrostu temperatury otoczenia. Zwiększenie przepływu krwi przez rozszerzone naczynia skórne powoduje doprowadzenie ciepła do powierzchni ciała i jego wypromieniowanie na zewnątrz. Również parowanie potu ułatwia oddawanie ciepła z powierzchni skóry, która dzięki temu oziębia się, a to z kolei umożliwia przekazanie jej nowej porcji energii cieplnej z wnętrza ciała.

Obniżenie temperatury otoczenia poniżej poziomu termoneutralnego powoduje przede wszystkim zwiększenie produkcji ciepła przez organizm. Reakcje naczyniowe bowiem, w postaci zwężenia skórnych naczyń krwionośnych tylko w niewielkim stopniu chronią przed utratą ciepła. Dla wyrównania tych strat musi więc zintensyfikować się jego produkcja przez zwiększenie spoczynkowego napięcia mięśni i ich seryjne, niewielkie skurcze (drżenia) oraz przez tzw. termogenezę bezdrżeniową. Zwiększenie napięcia mięśniowego łączy się z nakładem energii na jego podtrzymanie, przy czym większość jej zamieniona zostaje na ciepło. Jeśli nie wystarcza to do utrzymania wewnętrznej tempe-




Rys. 6. Dopuszczalne wartości temperatury i wilgotności atmosfery wewnątrz kabiny samolotu.

gają gwałtownym zaburzeniom. U człowieka obniżenie temperatury wewnętrznej ciała do 32—30°C powoduje tzw. narkozę hipotermiczną, a podwyższenie do 44°C może już wywołać denaturację białek wewnątrzkomórkowych. Takie właśnie graniczne odchylenia od normy wyk- zuje temperatura wnętrza ciała, jeśli w ot-


45
40
35
30
25
temperatura otoczenia w °C
10 % wilg. wzgl.
30 % wilg. wzgl.
50 % wilg. wzgl.
70 % wilg. wzgl.
90 % wilg. wzgl.
100 % wilg. wzgl.
tolerancja 4 godz.
tolerancja 12 godz.
STREFA

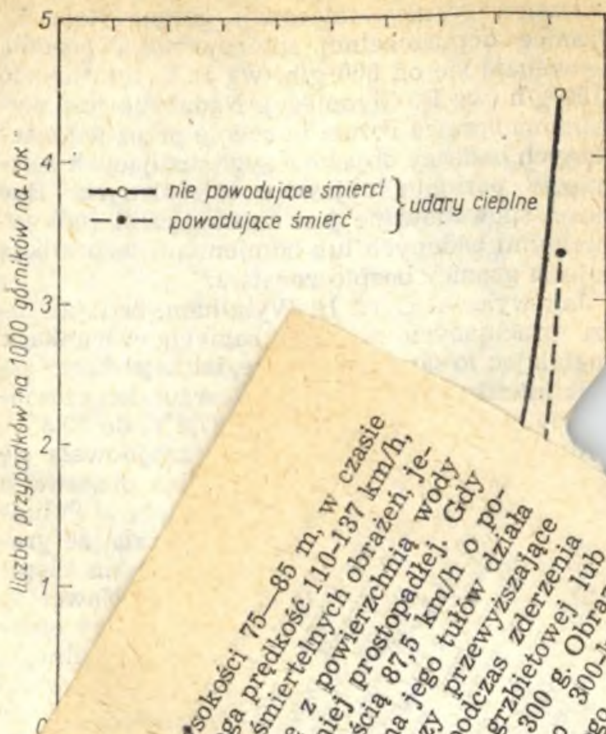
niu zewnętrznym temperatura obniży się do —35° C lub podniesie do +50°C, a ich działanie nie trwa dłużej niż 3—4 godziny. Oznacza to, że narkoza hipotermiczna powstaje dopiero po obniżeniu temperatury otoczenia o około 70°C w stosunku do poziomu temperatury wnętrza ciała (+37°C), a uszkodzenia cieplne białek — po podwyższeniu temperatury otoczenia o 13°C. Oznacza to także, że człowiek lepiej jest przygotowany do obrony przed zimnem niż przed gorącem.

W warunkach naturalnych oprócz temperatury otoczenia działają na organizm człowieka także inne czynniki klimatyczne, które mogą potęgować lub osłabiać wpływ gorąca lub zimna. Dotyczy to zwłaszcza wilgotności powietrza i jego ruchu. Duża wilgotność powietrza i brak przewiewu przy upale będą utrudniać ochładz-
jący powierzchnię skóry proces parowania
tu, a podczas mrozu — zwiększać utratę
na skutek podwyższenia współczynnika
dzenia cieplnego powietrza. Dla ustal
skojarzonych i współzależnych c
opracowano różne metody oceny
z których najszersze zastosowani
tura efektywna, szczegółowo
nym miejscu tej książki. Nal
tać, że metoda ta opiera się
nych odczuć, co nie zaw
tami fizjologicznymi.

Analiza działania
klimatycznych na
podstawowe pytan
patrywaniu niel
kowych. Nale

— Jaka
wieka na
terium,
dopus

ganizmu może być uznany za korzy-
równywaniu zaburzeń wywoła-
środowiskowymi i jakie
lerancję?
— W jakim
lerancji

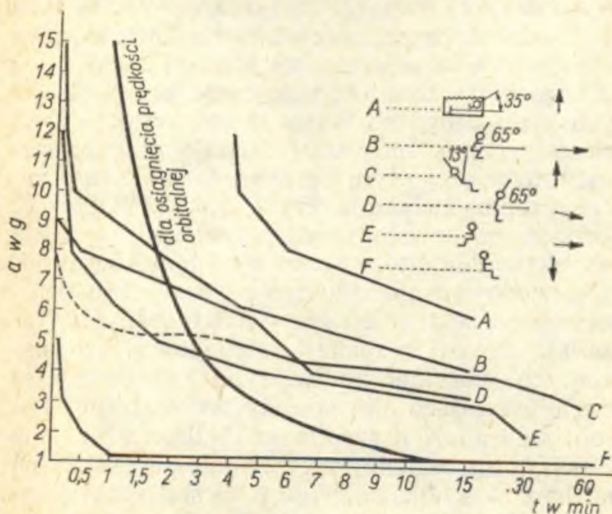



łożem. Zeskok z wysokości 75—85 m, w czasie którego człowiek osiąga prędkość 110-137 km/h, może nie spowodować śmiertelnych obrażeń, jeśli skaczący zetknie się z powierzchnią wody stopami, w pozycji do niej prostopadłej. Gdy skaczący uderza z prędkością 87,5 km/h o powierzchnię wody stopami, na jego tułów działa przyspieszenie 43 g (43 razy przewyższające przyspieszenie ziemskie), a podczas zderzenia z wodą w pozycji brzusznej, grzbietowej lub ... jego wartość wzrasta do 300 g. Obrazo... to przedstawić jako 300-krotne ... ciężaru ciała skaczącego. Bad... 167 śmiertelnych przypadków ... do wody wykazało, że ... płuc złama... serca i ...

rytmu pracy serca i nie powodujące śmierci krwotoki do płuc. Przyspieszenie dochodziło do 100 g z prędkością narastania 10 000 g/s.

Granice tolerancji przyspieszeń udarowych przez człowieka, określone na ochotnikach, wynoszą 38,5 g przy prędkości narastania 1350 g/s oraz 45 g przy prędkości narastania 500 g/s. Pozycja siedząca z twarzą do tyłu w stosunku do kierunku hamowania była najbardziej optymalna, jednak w tym wypadku szczególnie należy zwrócić uwagę na umocowanie głowy. Jej przegięcie może spowodować złamanie kręgów szyjnych, co może stać się przyczyną porażeń lub nawet — natychmiastowej śmierci.

Dla przyspieszeń narastających wolniej i działających przez dłuższy czas poziom tolerancji jest znacznie niższy (rys. 8). Występują one zwłaszcza podczas wykonywania ewolucji w powietrzu w samolocie lub w szybowcu oraz pod-




Rys. 8. Tolerancja przyspieszeń przez człowieka w zależności od kierunku ich działania: a — przyspieszenie, t — czas (wg Bonduranta i Clarkego).

czas startu i lądowania statku kosmicznego. Wartości graniczne zależne są tu wyraźnie od czasu ekspozycji i pozycji ciała w stosunku do kierunku działania przyspieszenia. Najlepiej jest znoszone przyspieszenie poprzecznie działające na ciało człowieka w kierunku plecy—piersi. Graniczne wartości wynoszą tu dla 2 minut 8—11 g. Natomiast w czasie działania (przez taki sam czas) przyspieszenia w kierunku stopy—głowa poziom tolerancji obniża się do 5—6 g, a w działaniu w odwrotnym kierunku: głowa—stopy, do około 2 g.

Reakcje będące istotą tolerancji przyspieszeń, związane są z możliwościami przeciwstawienia się przez organizm wpływom tych sił, które mechanicznie odkształcają elementy strukturalne ciała oraz przemieszczają luźno zawieszone narządy wewnętrzne i płyny ustrojowe (krew, limfę, płyn międzykomórkowy). Pierwsze zjawisko dotyczy przyspieszeń udarowych. W tych przypadkach przemieszczeń narządów i płynów ustrojowych w zasadzie nie stwierdza się, gdyż do tego potrzebne jest pokonanie bezwładności tych elementów, co wymaga przynajmniej 0,2 sekundy czasu. Im dłużej działają przyspieszenia, tym więcej i tym bardziej rozległe są przemieszczenia, zwłaszcza krwi i limfy. W efekcie dochodzi do powstania obszarów niedokrwienia i przekrwienia, które zależnie od lokalizacji mogą powodować niedotlenienie tkanek lub przepełnienie i pęknięcie naczyń krwionośnych. Nakładają się na to reakcje odruchowe z rozciągniętych wiązadeł, na których zawieszone są przemieszczające się narządy wewnętrzne. Poziom tolerancji przyspieszeń będzie więc tym większy, im bardziej wytrzymałe są tkanki na mechaniczne odkształcenie i im skuteczniej organizm potrafi zapobiegać przemieszczaniu się elementów luźno umieszczonych wewnątrz ciała.

Stany odwrotne do skutków działania przyspieszeń, związane ze zmniejszeniem lub zniesieniem grawitacji ziemskiej, występują głównie, jak dotąd, w lotach kosmicznych. Efekty działania nieważkości i niedoważkości dotyczą przede wszystkim koordynacji napięć mięśniowych, a zwłaszcza precyzji ruchów drobnych. W warunkach wpływu grawitacji ziemskiej czynnikiem modelującym wysokość napięcia mięśniowego i zakresu skurczu są opory w postaci ciężaru unoszonej części ciała. W nieważkości, gdzie ten czynnik modelujący znika, występują w pierwszych dniach zaburzenia w zborności skurczów mięśniowych, co odbija się na precyzji ruchu. Efekt ten utrzymuje się dość długo, zaznaczając się jeszcze po tygodniu przebywania w nieważkości. Wynikiem zmniejszenia precyzji ruchów jest także zmiana ich szybkości (trwają one 2—3 krotnie dłużej niż w warunkach ziemskich). Ponadto, proporcjonalnie do czasu pobytu w nieważkości, zmniejsza się stopniowo siła i wytrzymałość mięśni na obciążenie wysiłkiem fizycznym.

Najlepiej poznanymi zaburzeniami fizjologicznymi wywołanymi przez nieważkość są zmiany pracy układu krążenia. Nieważkość zmniejsza opór w układzie krążenia poprzez zniesienie ciśnienia hydrostatycznego. Serce pracuje więc z mniejszym obciążeniem niż w normalnej grawitacji, co przede wszystkim uwidacznia się w zwolnieniu akcji serca i obniżeniu ciśnienia tętniczego. Starając się utrzymać ciśnienie tętnicze na dotychczasowym poziomie, organizm podwyższa opór obwodowy krążenia poprzez skurcz naczyń. W efekcie powstaje wzrost ciśnienia żylnego. W procesie przystosowawczym do nieważkości zmiany te ustępują, jednak czas pojawienia się nowego stanu równowagi czynnościowej nie jest dokładnie ustalony.

Przyjmuje się, że poza niewielkimi zmianami

w motoryce człowieka i w pracy układu krążenia pozostałe procesy fizjologiczne, w pierwszym okresie wpływu nieważkości, w zasadzie nie ulegają zaburzeniom. Większe zmiany wiążą się z procesem adaptacyjnym; są one niekorzystne zwłaszcza w okresie ponownej adaptacji do ciążenia ziemskiego. Można więc przyjąć, że tolerancja zmniejszonego ciążenia ziemskiego jest dobra, nawet w sytuacjach, kiedy zostaje ono całkowicie zniesione.

Czynnikami środowiskowymi, których wpływ człowiek spotęgował swoją działalnością, są hałas i wibracje. Oddziaływanie hałasu na organizm człowieka łączy się głównie z funkcją narządu słuchu. Wyspecjalizowane w odbieraniu bodźców akustycznych receptory są najwcześniej pobudzane i najszybciej ulegają uszkodzeniu w razie przekroczenia dopuszczalnego natężenia hałasu. Jednakże może on oddziaływać bezpośrednio także na inne tkanki, uszkadzając je mechanicznie swoją energią kinetyczną. Ponadto, działając na narząd słuchu, wywołuje różnorodne reakcje odruchowe, mogące się uwidaczniać w funkcjonowaniu układu krążenia, układu nerwowego, a nawet przemian wewnątrzkomórkowych poprzez wpływ na układ gruczołów wydzielania dokrewnego.

Stopień szkodliwości hałasu zależy przede wszystkim od jego działania na narząd słuchu. Długotrwałe lub wielokrotne przebywanie w hałasie upośledza zdolność słyszenia, zwłaszcza w zakresie tonów wysokich (powyżej częstotliwości 4000 Hz). Duże natężenie tonów niskich, zwłaszcza działających wspólnie z wibracjami, uszkadza z kolei mechanicznie narząd słuchu. Granice tolerancji określane są głównie pod kątem widzenia tych wpływów, uwzględniając dopuszczalne natężenie hałasu w pracy zawodowej — takie — które nie wywoła uszkodzenia słuchu. Należy jednak pamiętać, że dezorgani-

zacja funkcji układu nerwowego, zazwyczaj trudno uchwytna w kontekście działania hałasu, może być także czynnikiem ograniczającym poziom dopuszczalnego narażenia. Przemawia za tym znacznie częstsze występowanie różnych postaci nerwic u mieszkańców dzielnic śródmiejskich, gdzie hałas uliczny nie pozwala na należyty wypoczynek nocny. Dla pracy zawodowej ustalono, że dopuszczalne natężenie hałasu nie może przekraczać 85—90 decybeli. Jednakże i ten poziom jest za wysoki dla czynności, które wymagają wysiłku psychicznego. Wydaje się, że maksymalnie dopuszczalny poziom ciągłego tła hałasu w środowisku bytowania nie powinien przekraczać wartości 25—35 decybeli. Natężenie 100 decybeli grozi uszkodzeniem słuchu już po upływie 1 godziny, a natężenie 110 decybeli wywołuje obniżenie zdolności słyszenia już po 10 minutach działania. Krótkotrwałe, sekundowe działanie hałasu znoszone jest przez człowieka do wysokości 120—125 decybeli, lecz poziom 130—135 decybeli uszkadza już mechanicznie narząd słuchu, powodując silny ból.

Zaburzenia związane z działaniem wibracji łączą się ze zjawiskami tłumienia rezonansu drgań przenoszących się na ciało. Organizm ludzki można tu rozpatrywać jako układ sprężysty, w którym główną rolę amortyzacyjną przejmują na siebie mięśnie. Zdolność tłumienia drgań jest różna, zależna m.in. od częstotliwości drgań i okolicy ciała, na którą te drgania wpływają. Najbardziej patogenny jest rezonans tkanek i narządów wewnętrznych związany z pobudzeniem receptorów leżących w okolicy poddanej wibracji oraz mechanicznym uszkodzeniem (rozerwanie, pęknięcie, złamanie) drgających tkanek.

Dopuszczalny poziom wibracji opracowany został na podstawie objawów subiektywnych, których wystąpienie uważa się za osiągnięcie

granic tolerancji. Są to przede wszystkim bóle w okolicy serca, środkowych okolic brzucha, głowy oraz utrudnienie oddychania, uczucie duszności i lęku. Nie oznacza to, że niższe wartości wibracji są bezpieczne. Długotrwałe oddziaływanie tego czynnika wywołuje liczne zmiany w obwodowych naczyniach krwionośnych, przejawiające się zwłaszcza zmniejszeniem przepływu krwi przez narażone na wibrację tkanki. Normy maksymalnego dopuszczalnego narażenia dla ekspozycji ciągłej w pracy przemysłowej muszą być znacznie niższe od tych wartości, które są znoszone w czasie oddziaływania jednorazowego. Wartości graniczne zależą tu od częstotliwości, amplitudy i czasu działania wibracji, dopuszczając na przykład dla wibracji ogólnej 30-minutowej częstotliwość 4—10 Hz i amplitudę do 0,15 mm (tab. 6). W jednorazowej ekspozycji dla tego czasu przyjmuje się przy tej samej częstotliwości amplitudę do 30 mm, a przy amplitudzie 0,15 mm, częstotliwość do 1000 Hz jako maksymalnie tolerowane przez człowieka.

Rozwój batynautyki (przebywania i pracy pod wodą), lotnictwa i kosmonautyki uwidocznił szczególnie wyraźnie problem wpływu *ciśnienia atmosferycznego* i związane-

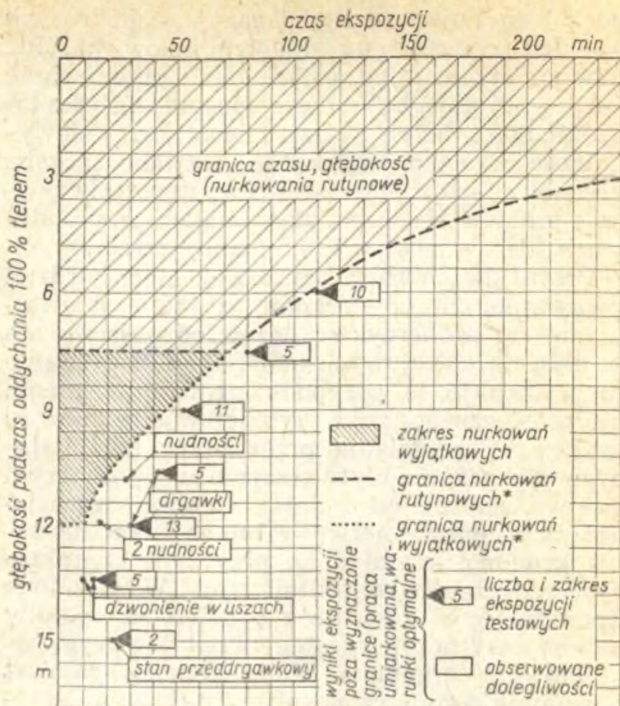
Tab. 6
**Najwyższe dopuszczalne parametry wibracji ogólnej na stanowiskach pracy w przemyśle**
(normy radzieckie, zalecane w RWPG)

| Częstotliwość Hz | Amplituda mm | Prędkość cm/s | Przyspieszenie cm/s² |
|---|---|---|---|
| do 3 | 0,6—0,4 | 1,12—0,76 | 22—14 |
| 3—5 | 0,4÷0,15 | 0,76—0,46 | 14—15 |
| 5—8 | 0,15—0,05 | 0,46—0,25 | 15—13 |
| 8—15 | 0,05—0,03 | 0,25—0,28 | 13—27 |
| 15—30 | 0,03—0,009 | 0,28—0,17 | 27—32 |
| 30—50 | 0,009—0,007 | 0,17—0,22 | 32—70 |
| 50—75 | 0,007—0,005 | 0,22—0,23 | 70—112 |
| 75—100 | 0,005—0,003 | 0,23—0,19 | 112—120 |

go z jego zmianą wpływu gazów wchodzących w skład powietrza na organizm człowieka. Już dawniej stwierdzono u nurków, że przebywanie na pewnej głębokości może spowodować uszkodzenie kości, bóle stawowe i nawet ostrą niewydolność krążenia. Objawy te, nazwane chorobą kesonową, szczególnie często występowały podczas pracy w kesonach, stosowanych przy budowach filarów mostów lub falochronów.

Przyczyną choroby kesonowej, albo, bardziej poprawnie, choroby dekompresyjnej jest uwalnianie się pęcherzyków gazów rozpuszczonych w płynach ustrojowych i tkankach. Uwalnianie to występuje w przypadku zmiany ciśnienia atmosferycznego, zbyt szybkiej w stosunku do możliwości wydalania przez płuca uwalniających się gazów. Wytwarzające się pęcherzyki gazowe, zależnie od umiejscowienia, mogą uciskać na receptory nerwowe lub zamykać naczynia krwionośne stając się przyczyną charakterystycznych zaburzeń klinicznych. W lotnictwie uporano się w zasadzie z problemem choroby dekompresyjnej nasycając przed lotem wysokościowym organizm pilota tlenem, zamiast normalnie rozpuszczonego we krwi azotu. Natomiast w nurkowaniu i batynautyce profilaktyka choroby dekompresyjnej sprowadza się do stopniowego wynurzania z wody. W tym celu opracowano specjalne tabele dla płetwonurków, nurków i pracowników komór kesonowych, w których podany jest czas i liczba etapów wynurzania w zależności od czasu i głębokości przebywania pod wodą.

Duże ciśnienie gazów podawanych do oddychania może ponadto być przyczyną powstawania zatruć tymi gazami. Przebywanie w atmosferze czystego tlenu już po kilkunastu godzinach powoduje wyraźne objawy złego samopoczucia, a nawet — w pojedynczych wypadkach — zatrucia (rys. 9). Wszyscy badani przerywa-




Rys. 9. Granice „czas ekspozycji — głębokość" podczas nurkowania w zabezpieczeniu tlenem; x — granice uznane za bezpieczne.

li doświadczenie po 72—74 godzinach z powodu bólu w klatce piersiowej, silnego kaszlu, utraty łaknienia i osłabienia. Polega to głównie na hamowaniu różnych układów enzymatycznych, spełniających ważną rolę w oddychaniu komórkowym. Jako bezpieczne ciśnienie tlenu, w którym człowiek może przebywać bez ograniczeń, przyjmuje się 1/3 atmosfery, a dla ciśnień wyższych tolerancja zależy od czasu przebywania. Na przykład dla podanego wyżej ciśnienia 1 atmosfery najkrótszy notowany czas, po upły-

wie którego występuje zatrucie, wynosi 4 godziny, a przeciętny 50—75 godzin.

Nie tylko tlen lub dwutlenek węgla, podawane pod większym niż normalnie ciśnieniem, mogą spowodować zatrucie. Również tzw. gazy obojętne mogą wywoływać określone zmiany w przebiegu funkcji fizjologicznych. Wśród stosowanych w pracach podwodnych największe znaczenia mają azot i hel. Objawy zatrucia tymi gazami często porównuje się do objawów ostrego zatrucia alkoholowego lub wstępnych okresów niedotlenienia, co wskazuje na ich oddziaływanie na ośrodkowy układ nerwowy (tab. 7). Lanphier określił nawet ten efekt jako „prawo Martini", stwierdzając, że „każde dodatkowe 15 metrów głębokości działa jak 1 dodatkowy *dry* Martini wypity na czczo". Azot wywołuje szybciej objawy zatrucia niż hel, lecz sam przebieg tego zatrucia jest podobny. Tolerowane przez nurków ciśnienia, w których jeszcze

Tab. 7

**Zachowanie się człowieka pod działaniem sprężonego powietrza w zależności od głębokości nurkowania**
(wg Milesa)

| Głębokość | Objawy |
|---|---|
| 30—45 m | Wzmożona pewność siebie, euforia, trudność różnicowania drobnych zdarzeń. |
| 45—60 m<br>60—75 m | Jowialność i gadatliwość, niekiedy zawroty głowy, nie kontrolowany śmiech, zmniejszenie gotowości pamięci, trudność w koncentracji uwagi i precyzji wykonywania zadań umysłowych, zmniejszona koordynacja napięć mięśniowych podczas ruchów precyzyjnych, wydłużenie czasu reakcji, zmniejszenie krytycyzmu (lekceważenie niebezpieczeństwa), czasem uczucie mrowienia i osłabienia mięśni. |
| 90 m | Przygnębienie, duże zaburzenia koordynacji napięć mięśniowych podczas wykonywania ruchów, dezorientacja, niepokój, złe samopoczucie, objawy depersonalizacji. |
| 105 m | Groźba utraty przytomności — dotychczas niewiele wiarygodnych danych na temat wpływu na tej głębokości. |

Tab. 8

**Wpływ jednorazowego napromienienia całego ciała człowieka**

| Dawka ekspozycyjna (w rentgenach) | Objawy |
|---|---|
| 0—50 | Brak uchwytnych zmian, wyjątkowo nieznaczne zmiany we krwi. |
| 80—120 | Wymioty i nudności, trwające około doby, u 5—10% napromienionych; uczucie zmęczenia bez większego obniżenia ogólnej wydolności. |
| 130—170 | Wymioty i nudności, trwające około doby, po których u 25% napromienionych pojawiają się inne objawy choroby popromiennej; nie stwierdza się przypadków śmiertelnych. |
| 180—220 | Wymioty i nudności, trwające około doby, po których u 50% napromienionych pojawiają się inne objawy choroby popromiennej; nie stwierdza się przypadków śmiertelnych. |
| 270—330 | Wymioty i nudności prawie u wszystkich napromienionych; później pojawiają się inne objawy choroby popromiennej; u ok. 20% napromienionych przebieg śmiertelny, rekonwalescencja trwa około 3 miesięcy. |
| 400—500 | Wymioty i nudności u wszystkich napromienionych, trwające jedną dobę, inne objawy choroby popromiennej pojawiają się w dniach następnych; w ciągu 1 miesiąca ginie 50% napromienionych; okres rekonwalescencji trwa około 6 miesięcy. |
| 550—750 | Wymioty i nudności po 4 godzinach po napromienieniu, po których pojawiają się inne objawy choroby popromiennej; śmiertelność prawie w 100%. |
| 1000 | Wymioty i nudności u wszystkich po 1—2 godzinach od napromienienia; śmiertelność w 100%. |
| 5000 | Niewydolność ogólna prawie natychmiast po napromienieniu; śmierć następuje w ciągu tygodnia. |

objawy te nie występują, są różne, ale zazwyczaj wahają się w granicach 5—7 atmosfer.

P r o m i e n i o w a n i e   j o n i z u j ą c e jest czynnikiem, który najlepiej ilustruje tezę o konieczności uwzględniania rozrzutu indywidualnego w wyznaczaniu tolerancji ludzkiego organizmu. Człowiek w niewielkim tylko stopniu styka się z tym rodzajem promieniowania w swym codziennym życiu, w związku z czym

nie wykształcił poważniejszych mechanizmów obronnych. Przyczyną zaburzeń jest jonizacja substancji zawartych w komórkach, a tym samym uszkodzenie przemian wewnątrzkomórkowych. Są to zmiany tylko w części odwracalne, zwłaszcza przy dużych dawkach (tab. 8). Jednorazowe napromienienie już powoduje przypadki śmiertelne po przekroczeniu dawki 250 rentgenów, natomiast dawka, która wywołuje obniżenie zdolności do pracy, wynosi 120 rentgenów. Wielokrotne napromienienia częściowo sumują się, pogłębiając uprzednio spowodowane uszkodzenia i powodując, że w sumie dawka tolerowana niewiele odbiega od dawki znoszonej jednorazowo, a sam przebieg zaburzeń i regeneracji nie pozwala na ustalenie ścisłych granic tolerancji. Jest to jeden z czynników, o którym można twierdzić, że każda dawka przekraczająca tło w przyrodzie (0,001 r/dobę) jest dla organizmu szkodliwa.

# 4 CZŁOWIEK W ZMIENIONYM ŚRODOWISKU

Niemal wszystkie czynniki fizyczne, typowe dla środowiska pracy i bytowania człowieka, występują w warunkach naturalnych. Człowiek zmienia jedynie natężenie ich oddziaływania. Nowym natomiast, spotykanym coraz częściej i w coraz większych ilościach, składnikiem naturalnego środowiska są różne substancje chemiczne, które w olbrzymiej większości pojawiły się jako nie zamierzony efekt naszej działalności. Wytworzone w procesach technologicznych, są związane z rozwojem kultury technicznej, urbanizacji, mechanizacji i chemizacji rolnictwa i leśnictwa itp.

I tu należy podkreślić, że o ile czynniki fizyczne są na ogół znane i dzięki temu można przeważnie (w przypadku zagrożenia z ich strony) uniknąć niebezpieczeństwa, stosując odpowiednie środki ochrony, o tyle lista substancji chemicznych, które są toksyczne dla populacji ludzkiej, obejmuje wieleset pozycji i stale się powiększa. Jeśli do tego dodamy substancje nie umieszczone na oficjalnej liście dopuszczalnych stężeń ze względu na ich niewielki udział w wywoływaniu zatruć lub dlatego, że ich wpływ nie został dotąd zbadany (np. tzw. włókna chemiczne i substancje używane do produkcji mas

plastycznych), liczba możliwych zagrożeń z ich strony urośnie do kilku tysięcy. Nawet dla specjalistów, toksykologów przemysłowych, objęcie i sklasyfikowanie wszystkich możliwości zatruć czy skażeń chemicznych jest trudne z uwagi na to, że pojawiają się stale nowe grupy związków, używanych przez przemysł w różnych procesach technologicznych. Aby uporządkować metody oceny i określania toksyczności poszczególnych środków chemicznych, w 1963 r. grupa ekspertów Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) i Międzynarodowego Biura Pracy (ILO) zaproponowała następujące podstawy klasyfikacji:

1. Substancje o działaniu szybkim, drażniącym, uczulającym lub powodujące ostre zatrucia. Dla tych substancji wartość najwyższych dopuszczalnych stężeń jest równocześnie poziomem, którego nie wolno nawet na krótko przekraczać.

2. Substancje o wpływie kumulatywnym, których efekt działania nie zależy od chwilowego przekroczenia najwyższego dopuszczalnego stężenia, lecz od całkowitej dawki wchłoniętej przez organizm.

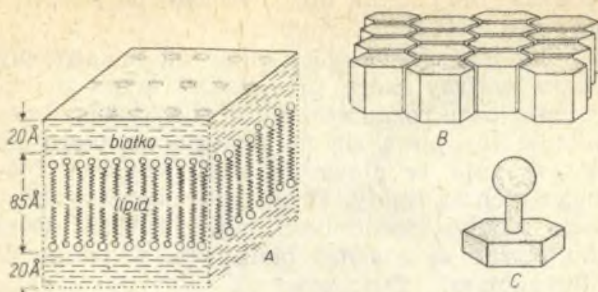
3. Substancje chemiczne, których głównym efektem działania jest powstawanie nowotworów. Dla tego rodzaju substancji nie ma najwyższych dopuszczalnych stężeń, gdyż jedynym bezpiecznym jest stężenie zerowe.

Poszczególne substancje działają na organizm człowieka w sposób zależny od struktury chemicznej oraz od zdolności wnikania do komórek i łączenia się tam z substancjami ważnymi dla procesów wewnątrzkomórkowych. Większość z nich związana jest ze środowiskiem pracy i tylko sporadycznie lub w minimalnych ilościach przenika do naturalnego otoczenia. Jednakże jest wiele środków, które celowo są rozsiewane w przyrodzie (np. środki chwasto-

i owadobójcze) lub dostają się tam z powodu niedoskonałości filtrów wraz z odpadkami, ściekami itp.

Rozpatrując ogólnie możliwości wywoływania zaburzeń zdrowia przez substancje szkodliwe należy przede wszystkim określić drogi ich wnikania do wnętrza organizmu człowieka. Muszą one przede wszystkim przenikać przez bariery, które oddzielają człowieka od zewnętrznego środowiska chemicznego, a więc przez skórę, nabłonek przewodu pokarmowego oraz nabłonek układu oddechowego. Można więc mówić o „błonach", których pokonanie umożliwia rozprzestrzenianie się szkodliwych substancji chemicznych w całym organizmie. Związane z białkami surowicy krwi, w postaci wolnej lub łącząc się z komórkami, docierają one do najdalszych zakątków ciała. Jednakże wewnątrz organizmu ich przenikaniu przeciwdziałają bariery, także w postaci błon (ściany naczyń krwionośnych, błona komórkowa, błona wewnątrzkomórkowa). Penetrację substancji chemicznych można więc określić jako transport z pokonywaniem barier w postaci błon lub inaczej — jako zdolność przenikania przez błony biologiczne.

Przechodzenie substancji chemicznej przez błonę biologiczną odbywa się drogą transportu biernego lub czynnego, wyspecjalizowanego (rys. 10). Pierwszy sposób penetracji polega na tym, że błony biologiczne zachowują się jako nieaktywne chemicznie przegrody zawierające pory i zbudowane (częściowo) z rozpuszczalników. Związki chemiczne mogą przez takie przegrody przenikać samodzielnie lub wraz z wodą przez pory lub rozpuszczając się w substancjach (głównie w lipidach), z których błony są zbudowane. Siłą napędową takiego przenikania jest gradient stężeń lub powinowactwo chemiczne (np. do rozpuszczalnika).




Rys. 10. Hipotetyczna budowa błon biologicznych. A — schemat Davsona-Danielliego-Robertsona; B — schemat Greena i współaut.; C — schemat jednostki strukturalnej błony grzebieni mitochondrialnych wg Greena i współaut.

Transport czynny opiera się na substancjach przeważnie białkowych, „nośnikach" wyspecjalizowanych w przenoszeniu określonych związków chemicznych. Charakterystyczne dla niego jest przede wszystkim to, że odbywa się w kierunku przeciwnym do gradientu stężeń lub — w przypadku jonów — gradientu potencjału elektrochemicznego. Jego intensywność regulowana jest określonym zapotrzebowaniem, na przykład koniecznością wytworzenia określonej różnicy potencjałów elektrycznych po obu stronach błony dla zapewnienia jej pobudliwości na bodźce. Nośniki transportu lub cały mechanizm przenoszenia przez błonę są specyficzne, to znaczy dotyczą określonych substancji lub chemicznie zbliżonych grup. Inne związki chemiczne przez te same nośniki nie są transportowane. Jeśli ten sam mechanizm umożliwia przenoszenie kilku substancji, intensywność transportu zależy głównie od sumy ich stężeń, czyli że są one traktowane przez organizm jako ta sama substancja. Wreszcie, transport czynny jest ściśle związany z przemianą wewnątrzkomórkową. Jej

upośledzenie osłabia lub znosi czynną penetrację substancji chemicznych.

Nabłonek wyścielający przewód pokarmowy i pokrywający skórę przepuszcza łatwo związki chemiczne rozpuszczalne w tłuszczach. Przenikanie to opiera się na transporcie biernym, co wskazuje, że głównym budulcem błon biologicznych są lipidy. W podobny sposób zachowuje się większość błon biologicznych, które zbudowane są z siatki białkowej, wypełnionej substancjami tłuszczowymi. Przypuszczalnie błona wyścielająca układ oddechowy ma też taką budowę, jednakże jest ona bardziej podatna na przechodzenie substancji nierozpuszczalnych w tłuszczach, a także ciał stałych. Wiadomo np., że środki podane do płuc jako aerozol łatwo przenikają przez błonę wyścielającą pęcherzyki płucne. To samo odnosi się do pyłu, którego cząsteczki o średnicy nie przekraczającej 5 mikronów bez trudu przechodzą przez nabłonek płucny.

Duże podobieństwo budowy wszystkich błon biologicznych sprawia, że po przejściu danej substancji przez zewnętrzne bariery dotarcie jej do różnych komórek wnętrza organizmu nie nastręcza już w zasadzie żadnych trudności. Można nawet uznać zdolność przenikania przez zewnętrzne błony biologiczne za pewien wskaźnik późniejszego rozprzestrzeniania się w organizmie. Będzie to jednak wskaźnik tylko przybliżony. Poszczególne błony mogą różnić się między sobą grubością, wielkością por i ładunkiem elektrycznym. Ponadto, niektóre substancje mogą być transportowane czynnie. Bardziej ścisły będzie natomiast odwrotny wniosek, że substancja chemiczna, która nie ma zdolności przenikania przez błony biologiczne, jest dla organizmu człowieka obojętna.

Przechodzenie przez błony biologiczne łączy się ściśle z procesem wchłaniania i wydalania

danych substancji. Zachwianie proporcji na korzyść wchłaniania będzie prowadzić do nagromadzenia się określonego związku chemicznego. Dla zilustrowania możemy posłużyć się przykładem palenia papierosów. Dym papierosowy zawiera oprócz rakotwórczych substancji smołowych, tlenek węgla i nikotynę. Substancje te są szybko w płucach wchłaniane, lecz efekt nawarstwiania się objawów zatrucia wykazuje tylko tlenek węgla. Nikotyna jest tak szybko rozkładana, że czas między paleniem kolejnych papierosów wystarcza, aby niemal całkowicie usunąć ją z organizmu. Tlenek węgla wiąże się z hemoglobiną krwinek czerwonych bardziej trwale i rozerwanie tego połączenia wymaga dłuższego czasu. Stąd też, wypalenie każdego kolejnego papierosa powoduje dodanie nowej porcji tlenku do już obecnego we krwi, czyli wystąpi efekt kumulacji. U osób dużo palących 10% hemoglobiny wyłączone jest w ten sposób z transportu tlenu. Jeśli dodamy do tego tlenek węgla wdychany z powrotem w środowisku miejskim (gazy spalinowe), może to już grozić objawami zatrucia.

Organizm człowieka gromadzi nie tylko niektóre wchłaniane substancje. Efekt kumulacji może czasem dotyczyć związków chemicznych, które nie nagromadzają się wewnątrz ciała, lecz są zbyt wolno usuwane. Mamy w tym wypadku do czynienia z kumulacją wpływów. Należy więc, rozpatrując wpływ określonej substancji na organizm człowieka, wyraźnie zróżnicować jej stężenie w organizmie i efekty jej działania, które nie zawsze zależą od stężenia.

Przykładem może tu być efekt działania i nagromadzenia się w tkankach różnych pestycydów. DDT gromadzi się w organizmie człowieka, ponieważ łatwo rozpuszcza się w tłuszczach i jest wolno wydalany. W latach, kiedy preparat ten był masowo stosowany, stwierdzano często

jego obecność w tkankach człowieka. Na szczęście, jest on mało toksyczny i objawy zatrucia pojawiają się dopiero po podaniu ok. 10 g tej substancji, co wystarcza do zabicia np. kilkuset ton pcheł. Obecnie stosowane pestycydy, pochodne związków fosforoorganicznych, są szybko rozkładane i wydalane z organizmu, jednakże skutki ich działania w postaci blokady przewodzenia bodźca przez złącza nerwowe utrzymują się długo i są czasem nieodwracalne. Efekt zatrucia stopniowo się pogłębia w przypadku dopływu nowych porcji tych substancji.

Obroną organizmu przed dostaniem się do jego wnętrza substancji szkodliwych oraz przed ich działaniem jest ich szybki rozkład i wydalanie. Poziom tej reakcji zależy od rodzaju substancji, która ją wywołała. Stwierdza się przy tym, że różne szkodliwe substancje chemiczne mogą w miarę powtarzania się kontaktu z człowiekiem lub przedłużania czasu ekspozycji pobudzać ten mechanizm, przyspieszając usuwanie z organizmu szkodliwego czynnika. Najczęściej dotyczy to przyspieszenia rozkładu danej substancji przez zwiększenie aktywności enzymów, które ją rozkładają. Wśród związków chemicznych mających tę właściwość można wymienić rakotwórczy benzopiren, DDT, owadobójczy chlordan, butylohydroksytoluen (BHT, dodawany do pożywienia jako środek konserwujący), herban (herbicyd) i inne. Niektóre związki o pokrewnym charakterze chemicznym rozkładane są przez ten sam enzym. Zetknięcie się więc z jednym z nich ułatwia obronę przed całą grupą związków. W lecznictwie i profilaktyce zatruć jest to wykorzystywane w ten sposób, że podaje się leki mające właściwość pobudzenia aktywności odpowiednich enzymów.

Zagrożenie wynikające z obecności w środowisku szkodliwych substancji chemicznych jest znacznie większe niż to, które powodują czyn-

niki fizyczne. Wynika to z powszechności zanieczyszczenia różnymi substancjami chemicznymi naszego otoczenia i ze stale wzrastającej liczby związków, które tego zanieczyszczenia są przyczyną. Nasuwają się więc uzasadnione pytania pod adresem nauki: czy można przed zastosowaniem nowych środków chemicznych w technologii lub w praktyce ocenić stopień ich toksyczności? Czy i w jakim stopniu wstępne badania na zwierzętach mogą być wykorzystane w ocenie tego działania?

Aby w pełni uzmysłowić sobie, jak trudna jest odpowiedź na te pytania, należy przede wszystkim stwierdzić, że ocena groźby zatrucia u człowieka może być dokonana wyłącznie na podstawie znajomości mechanizmu, za pomocą którego dana substancja wpływa na biochemiczne procesy wewnątrz organizmu. Ponadto określenie samego przebiegu zatrucia ma niewielką wartość, jeśli nie określi się równocześnie dawki, która to zatrucie wywołała. W profilaktyce podstawowym więc pytaniem jest: jakie stężenia danej substancji wywołują zatrucie, jak ono się zwiększa wraz ze wzrostem ilości wchłanianej przez organizm substancji oraz jaki poziom stężenia można jeszcze uznać za bezpieczny, nieszkodliwy dla człowieka? O ile na pytania dotyczące mechanizmu reakcji można uzyskać odpowiedź z badań na zwierzętach, o tyle ustalenie stężeń dopuszczalnych i szkodliwych jest bardzo trudne, czasem wręcz niemożliwe. Spowodowane jest to tym, że poszczególne gatunki charakteryzują się specyficzną dla siebie tolerancją różnych czynników oraz tym, że wiele związków chemicznych działa ponadto na strukturę genową.

Ten ostatni czynnik, działanie na aparat dziedziczenia cech, jest szczególnie ważny, gdyż łączy się z obserwowanymi przypadkami występowania w pewnych środowiskach zwiększonej

liczby zachorowań na nowotwory oraz przypadków nieprawidłowego rozwoju noworodków. Wydaje się, że to rakotwórcze i teratogenne działanie substancji chemicznych związane jest najczęściej z uszkodzeniem struktury genowej w cząsteczce kwasu dezoksyrybonukleinowego (DNA).

Już w 1944 roku wykazano, że proces karcinogenezy odbywa się dwuetapowo. Pierwszym etapem jest spowodowanie przez dany czynnik nieodwracalnej zmiany w procesach wewnątrzkomórkowych. Zmiana taka, jeśli ma być trwała, musi dotyczyć tych fragmentów struktury genowej komórki, od których zależy określony przebieg wspomnianych procesów. Drugim etapem jest powstanie guza nowotworowego na skutek zmiany funkcji komórki. Ważne jest również to, że czynnik wywołujący zmiany nowotworowe działa kumulatywnie, czyli że każda następna dawka nakłada się w swym działaniu na efekt dawki poprzedniej. Jednakże, częściowa odnowa lub usuwanie powstałych zmian jest możliwe, na co wskazywałby fakt, że zbyt długotrwała ekspozycja na działanie substancji rakotwórczej zapobiega pojawieniu się guzów nowotworowych. Stało się to podstawą teorii na temat występowania dwóch rodzajów czynników rakotwórczych — inicjatora i promotora. Etap pierwszy powstawania nowotworu byłby powodowany przez inicjatora, zapoczątkowującego określone zmiany w komórce. W wyniku tych zmian promotor indukuje powstanie nowotworu. Zdarza się, że poszczególne substancje chemiczne mają równocześnie właściwości inicjatora i promotora, inne zdolne są tylko do jednego typu działania.

Rakotwórcze właściwości substancji chemicznych występujących w środowisku życia i pracy człowieka zostały po raz pierwszy zasygnalizowane przez Percivalla Potta w 1775 r. Zaob-

serwował on, że częsty u kominiarzy rak moszny jest skutkiem drażniącego działania sadzy. W toku dalszych szczegółowych badań wykryto czynną w tym przypadku substancję — benzopiren. Jest on także obecny w dymie tytoniowym, będąc główną przyczyną raka płuc u palaczy. W miarę rozwoju ujawniono wiele związków o działaniu karcinogennym, a ich liczba stale wzrasta w związku z rozwojem chemii włókien sztucznych. Należą one do różnych grup chemicznych i przykładowo tylko można tu wymienić pochodne antracenu i innych weglowodorów aromatycznych (m.in. produkty zanieczyszczenia aniliny), benzydynę, β-naftylaminę oraz różne sole mineralne (związki arsenu, niklu, żelaza, chromu) i azbest. Rak płuc u osób pracujących w rafineriach niklu występuje 5 razy częściej, a rak nosa 150 razy niż w ogólnej populacji. W przetwórniach chromu zapadalność na raka płuc jest 15-30 razy częstsza.

Związek karcinogennego działania różnych substancji chemicznych z ich działaniem na cząsteczkę DNA wykazano doświadczalnie badając β-propriolakton, który ma właściwości inicjatora. Stwierdzono, że łączy się on z DNA w miejscu, gdzie w cząsteczce tego kwasu znajduje się aminokwas guanina. Zapoczątkowanie guza nowotworowego następowało najwcześniej w momencie, kiedy ok. 1% guaniny zostało połączone z inicjatorem. Samo połączenie z czasem ulega rozbiciu, jednak nieprawidłowe oddziaływanie DNA na produkcję enzymów pozostaje. Wskazuje to, że uszkodzenie struktury genowej zostało przekazane w replikacji DNA komórkom potomnym i jest przez nie dalej powielane, mimo że uszkodzona cząsteczka DNA w komórce macierzystej może odnowić po pewnym czasie swoje pierwotne właściwości.

Na szczęście, zmienione cząsteczki DNA są w dużej mierze unieczynniane. W przypadku

propriolaktonu inaktywacja (*in vitro*) DNA wynosi 15—50% wszystkich zmienionych cząsteczek tego kwasu. Dzięki temu, że stopień unieczynnienia jest znacznie wyższy niż intensywność mutacji, ujawnianie się karcinogenezy w wyniku działania substancji chemicznych jest rzadsze, niż można byłoby oczekiwać. Jednakże należy pamiętać, że chociaż uszkodzenie DNA w procesie karcinogenezy stawiane jest na pierwszym miejscu, efekt rakotwórczy można uzyskać uszkadzając i inne struktury wewnątrzkomórkowe.

Środkiem szeroko rozpowszechnionym w przemyśle i spotykanym w preparatach stosowanych w gospodarstwie domowym jest czterochlorek węgla. Związek ten powoduje szybkie nagromadzenie się w wątrobie trójglicerydów, wywołując jej otłuszczenie na skutek hamowania syntezy białek w rybozomach komórek wątrobowych i zmiany struktury tzw. siateczki endoplazmatycznej — siatkowatego zrębu wewnątrzkomórkowego. Nie powoduje on natomiast uszkodzenia DNA i syntetyzowanych przez ten kwas pochodnych. Dokładne badania wykazały, że po to, aby czterochlorek węgla ujawnił swój wpływ, potrzebne są pewne enzymy wewnątrzkomórkowe. Zatem działanie czterochlorku węgla nie jest bezpośrednie. Szkodliwe są dopiero związki, które w wyniku jego przemiany powstają. Hamowanie rozkładu czterochlorku węgla zwalnia proces otłuszczania wątroby lub nawet zapobiega mu, natomiast przyspieszanie intensyfikuje wspomniany proces. Można tego dokonać stosując ubogobiałkową dietę (efekt hamujący) lub DDT (efekt przyspieszający). Przykład czterochlorku węgla wskazuje, że różne czynniki środowiskowe mogą zmieniać wpływ substancji chemicznych na organizm.

Modyfikacja wpływu działającego czynnika

przez inne czynniki środowiskowe nie jest odosobnionym zjawiskiem. Prawie we wszystkich wypadkach skutek działania danego czynnika na organizm w izolowanych warunkach jest inny niż efekt oddziaływań skojarzonych. Częściowo zostało to wykazane na przykładzie wpływu mikroklimatu, gdzie zmiany wewnątrzustrojowe spowodowane temperaturą mogą być mniej lub bardziej wyraźne, zależnie od wilgotności i ruchu powietrza. Zwykle w takim skojarzonym działaniu zmienia się intensywność zaburzeń, czyli jest to efekt ilościowy. Czasem jednak spotyka się także jakościowo odmienne reakcje, które mają różny mechanizm powstawania.

Stwierdzenie to dotyczy oczywiście nie tylko środowiskowych czynników chemicznych. Czynniki fizyczne odgrywają tu także pewną rolę. Przykładem może być wpływ tlenku węgla na organizm człowieka poddanego działaniu wibracji i obniżonego ciśnienia atmosferycznego. Badania wskazują, że wtedy tlenek węgla działa znacznie bardziej toksycznie. Stwierdza się wówczas zwiększenie przemiany węglowodanów w mięśniach, wątrobie i mózgowiu, obniżenie poziomu białek oraz podwyższenie poziomu cholesterolu i tłuszczów we krwi. Ponadto, we krwi zmniejsza się wtedy liczba czerwonych krwinek, a podwyższa — krwinek białych. W mózgowiu i mięśniach podnosi się poziom glutationu, co sygnalizuje zwiększone zapotrzebowanie organizmu na tlen. Jest przy tym rzeczą interesującą, że niektóre witaminy i enzymy oddechowe mają w takich wypadkach właściwości ochronne, chociaż zgodnie z wynikiem analiz wydaje się, że o wystąpieniu tych zmian decyduje układ nerwowy. Blokowanie układu współczulnego zmniejsza bowiem wzmożoną toksyczność tlenku węgla.

Innym przykładem modyfikacji wpływu czyn-

ników działających wspólnie jest ocena zdolności do pracy człowieka przebywającego w atmosferze ze zwiększoną zawartością dwutlenku węgla i obniżoną — tlenu oraz w środowisku o podwyższonej temperaturze i wilgotności. Badania wykazały, że praca w warunkach, w których każdy z wymienionych tu czynników działa oddzielnie, była znacznie mniej wydajna i wykonywana była znacznie większym kosztem fizjologicznym niż wówczas, kiedy czynniki te działały wszystkie razem. W niedotlenieniu i atmosferze o podwyższonej zawartości $CO_2$ (do 3%), obok obniżenia wydajności pracy fizycznej, w krzywej elektrokardiograficznej występowały objawy zmniejszonej wydajności mięśnia sercowego. Zwłaszcza ciśnienie tętnicze skurczowe i objętość krwi przepompowywanej w ciągu minuty przez serce były w tych warunkach znacznie wyższe niż podczas pracy w środowisku kontrolnym. Warunki te miały także wpływ na zdolność do pracy umysłowej. Największe są wtedy zaburzenia uwagi oraz zdolności koncentracji psychicznej. Obniżała się również szybkość i zmniejszała dokładność pracy. Natomiast — dodanie do niedotlenienia i podwyższonego poziomu $CO_2$ warunków hipertermicznych (podwyższenie temperatury otoczenia i zwiększenie wilgotności powietrza, przy ruchu powietrza poniżej 0,3 m/s) poprawiało zdolność do pracy, którą badani wykonywali z wydajnością i kosztem fizjologicznym podobnym do warunków wyjściowych. W przypadku pracy umysłowej zdolność do pracy była nawet wyższa niż w warunkach kontrolnych, gdzie parametry środowiskowe miały poziom normalny.

Ostatnio, w związku z rozwojem biologii i medycyny kosmicznej, zwrócono uwagę na rolę, jaką w działaniu czynników środowiskowych odgrywa grawitacja. Przebadanie tych czynni-

ków w warunkach, w których grawitacja ziemska jest zniesiona przyspieszeniem dośrodkowym krążącego po orbicie sztucznego satelity ujawniło, że ciążenie ziemskie jest jednym z najpotężniejszych czynników warunkujących i modelujących rozwój organizmów ziemskich. Przyczyną ścisłego związku grawitacji z procesami wewnątrzustrojowymi jest to, że życie na Ziemi kształtowało i rozwijało się w warunkach stałego oddziaływania ciążenia ziemskiego. Dlatego też nie ma właściwie procesów fizjologicznych, których przebieg nie byłby m.in. uzależniony od grawitacji. Na poziomie komórkowym stwierdzono w lotach orbitalnych nieprawidłowe rozmieszczenie jąder komórki przy podziale oraz deformacje tzw. wrzeciona podziałowego. Zjawiska te przypisuje się nieważkości. Rozwój roślin w nieważkości wykazuje zaburzenia ortostazy (pionowego wzrostu), co przejawia się chaotycznym rozrostem gałęzi i korzeni.

To genetyczne uzależnienie od grawitacji procesów wewnątrzustrojowych organizmów ziemskich trudno nazwać korzystnym. Stwierdzono na przykład, że zniesienie wpływu grawitacji (nieważkości) zmniejsza, a nawet znosi ujemne działanie wibracji. Na poziomie komórkowym dotyczy to zwłaszcza uszkodzeń chromosomów. Uszkodzenia te, powstające w wyniku działania wibracji, spotyka się tym częściej, im wyższy jest poziom grawitacji. Podobnie — uszkodzenia popromienne chromosomów w komórkach trzykrotki (*Tradescantia*) były tym większe, im wyższa była grawitacja w chwili, kiedy nastąpiło napromienienie.

W lotach kosmicznych ważne jest wyposażenie załogi statku w odpowiedni zestaw leków, które mogłyby być użyte w razie konieczności. Doniesienia na temat zmiany zdolności do reagowania organizmów żywych na czynniki środowiskowe w nieważkości nasunęły przypusz-

czenie, że również działanie preparatów farmakologicznych może być wtedy inne. Badania potwierdziły te przypuszczenia. Na przykład stosowanie w nieważkości katecholamin (adrenaliny i noradrenaliny) wywoływało znacznie słabsze reakcje ze strony układu krążenia. W niektórych wypadkach, analizując przykładowo wpływ tych środków na zjawiska bioelektryczne w mięśniu sercowym, stwierdzono odwrócenie normalnie (w warunkach ziemskich) występującej reakcji. Fakty te spowodowały konieczność zbadania wpływu grawitacji i stanu nieważkości na mechanizm działania różnych leków, zwłaszcza tych, których działanie zmienia się w nieważkości jakościowo, a nie tylko ilościowo.

Duże znaczenie przywiązuje się także ostatnio do występujących w nieważkości zmian rytmów biologicznych różnych procesów fizjologicznych. Poziom tolerancji różnych czynników ulega wahaniom — dobowym, miesięcznym, sezonowym itp. — na skutek cyklicznych zmian stanu czynnościowego organizmu. Dokładna analiza wspomnianych rytmów u organizmów żywych, które brały udział w lotach kosmicznych, wykazała, że zmiany tych rytmów są nie tylko wynikiem odmiennej sekwencji: dzień — noc, lub u człowieka: praca — odpoczynek, lecz także — skutkiem zniesienia grawitacji. Badania laboratoryjne wykazały współzależność między rytmiką dobową procesów fizjologicznych a oddziaływaniem zmiennej w czasie grawitacji zespołu Ziemia—Księżyc. W nieważkości czynnik ten, modelujący poziom procesów fizjologicznych, znika, co wywołuje określone zaburzenia. Zagadnienia te są w początkowym stadium badań i brak jest dotąd obszerniejszych publikacji na ten temat.

Wszystkie wymienione w tym rozdziale fakty wskazują, że przy rozpatrywaniu poziomu

tolerancji czynników środowiskowych należy brać pod uwagę cały zespół tych czynników oraz możliwości interakcji między nimi. Skojarzony wpływ zespołu czynników środowiskowych nie jest nigdy sumą ich oddziaływań, lecz wypadkową synergizmu i antagonizmu występujących między nimi w ich oddziaływaniu na poszczególne procesy wewnątrzustrojowe. Ma to szczególne znaczenie przy rozpatrywaniu tolerancji środowiska skrajnie odmiennego, ekstremalnego, gdzie dobór poszczególnych parametrów środowiskowych może utrudnić lub ułatwić przebywanie człowieka. W przypadku mikroklimatu warunków pracy nurków pod wodą i akwenautów w bazach podwodnych, parametry te zostały ustalone. Dla większości jednak możliwych kombinacji, których zwłaszcza w przemyśle jest mnóstwo, są — jak dotąd — tylko ogólne dane określające wartości dopuszczalnych oddziaływań i związanych z tym zmian wewnątrzustrojowych występujących po przekroczeniu tych wartości.

Analizując zachowanie się człowieka w zmienionym środowisku, nie wolno pomijać zmiany funkcjonowania jego organizmu pod wpływem środków chemicznych, wprowadzanych świadomie do organizmu. Ogólnie — wpływ ten można rozpatrywać jako oddziaływanie szkodliwych substancji chemicznych, chociaż chodzi tu o środki lecznicze. Nie ma przy tym znaczenia to, czy dany preparat przypadkowo znalazł się w środowisku naturalnym, czy też został zsyntetyzowany i wprowadzony drogą doustną, wziewną, naskórną, w postaci zastrzyku lub w inny sposób do organizmu jako lek. Będąc substancją obcą wywołuje określone zmiany wewnątrzustrojowe, które nie zawsze są korzystne. Dotyczy to przede wszystkim zjawiska polipragmazji, czyli zbyt pochopnego stosowania różnych leków przez lekarzy oraz lekoma-

nii, czyli nadużywania różnych środków farmakologicznych przez chorych i pseudochorych. Oczywiście, odpowiedzialność lekarzy jest tu niewspółmiernie wyższa, gdyż pacjent może nie orientować się w ubocznych skutkach zażywanych leków. Można przypuszczać, że w przyszłości głównym zadaniem medycyny nie będzie rozpoznawanie i leczenie, lecz umiejętność współpracy lekarza z coraz bardziej uświadomionym pacjentem, który dzięki popularyzacji wiedzy medycznej będzie lepiej znał swój organizm i bardziej świadomie odnosił się do zaleceń personelu medycznego. Problematyka ta wchodzi w skład zagadnień związanych z ogólnym kierunkiem postępowania człowieka w dziedzinie ułatwienia życia i podniesienia jego standardu. Próby zmiany pożywienia poprzez jego przeróbkę i wzbogacenie w różne (nie zawsze obojętne dla organizmu człowieka) dodatki smakowe, zapachowe, barwikowe, konserwujące itp. trzeba zaliczać do tego samego kręgu zagadnień, co nadużywanie leków.

Jest rzeczą wiadomą, że praktycznie żaden lek, który jest postacią odpowiednio skoncentrowanej jednej lub kilku substancji, nie jest dla organizmu obojętny. Objawy szkodliwe nie zawsze są jednak w pełni do przewidzenia, gdyż mimo wymogów prawnych, czasem wprowadza się środki niedostatecznie poznane. Na przykład, zanim zorientowano się w skutkach stosowania thalidomidu (conterganu), kosztowało to ludzkość ponad 3000 zgonów i 4000 żyjących kalekich dzieci. Stosowanie do inhalacji leków rozszerzających oskrzela skojarzonych z środkami adrenergicznymi spowodowało także kilka tysięcy zgonów zanim zorientowano się w błędnych założeniach takiego stosowania. Jak podaje Kornel Gibiński, w samej tylko Anglii w 1966 r. zarejestrowano 334 przypadki śmierci spowodowanej stosowaniem środków farmako-

logicznych w celach leczniczych. Oczywiście, liczba ta nie obejmuje wszystkich przypadków, gdyż większość z nich nie została ujawniona przez lekarzy domowych lub administrację szpitali. Liczba chorych przyjmowanych do leczenia szpitalnego z powodu szkód wyrządzonych uprzednim leczeniem, wynosi według statystyk angielskich około 5% wszystkich hospitalizowanych, a według danych amerykańskich — nawet 10%.

Podstawowym warunkiem prawidłowego stosowania leku jest nie tylko znajomość mechanizmu jego działania, jego przemian w organizmie i sposobu wydalania. Wiele innych czynników ma wpływ na jego skuteczność, jak np. wiek, sposób odżywiania, tryb życia, równowaga czynnościowa układu nerwowego i endokrynologicznego, a także rasa, klimat i wiele innych. W stosowaniu leków należy, podobnie jak w działaniu innych czynników środowiskowych, uwzględniać interakcję kilku podawanych równocześnie środków. Może bowiem dojść do sumowania działania tych leków, jego potęgowania lub osłabiania.

Z punktu widzenia zachowania równowagi wewnętrznej organizmu oraz przeciwdziałania wpływom czynników zewnętrznych największą uwagę należy zwrócić na długotrwałe stosowanie małych dawek leków. W krajach zachodnich, zwłaszcza Stanach Zjednoczonych, Anglii, Francji i w krajach skandynawskich stałe przyjmowanie leków psychotropowych jest szczególnie często spotykane. Statystyka niektórych rejonów angielskich wskazuje, że średnio są one przyjmowane przez ponad 5 lat prawie bez przerwy, przy czym kobiety stanowiły w tej grupie 75%. Zażywanie środków nasennych przez ponad 180 dni w roku uprawia (zależnie od kraju) do 10% wszystkich statystycz-

nych obywateli, a stosowanie środków przeciwbólowych — 5 do 20%.

Można do tego dołączyć niekontrolowane w zasadzie używanie różnych ziół, środków przeczyszczających, a także niektórych środków spożywczych i używek stosowanych jako leki, jak np. śliwki, mleko, kawa, alkohole i inne. Ich długotrwałe stosowanie w określonych celach powoduje pogłębiającą się zmianę naturalnych mechanizmów wewnątrzustrojowych. Przykładem mogą być tak powszechnie spotykane i narastające zaburzenia neurowegetatywne. Rozwój techniki i zastępowanie pracy mięśni ludzkich pracą maszyn, ułatwianie pracy przewodu pokarmowego przez spożywanie potraw odpowiednio przerobionych i przekształconych w czasie przygotowywania, czynnościowe dostosowywanie się pracy naczyń krwionośnych do cieplarnianych warunków w wyniku eliminacji bodźców klimatycznych (hartowania) itp. musi prowadzić do zmian intensywności i jakości reakcji, do zaników naturalnych mechanizmów i do zwiększenia wrażliwości człowieka na niekorzystne działanie czynników środowiskowych. Żaden lek nie zastąpi w tym wypadku naturalnych bodźców, podnoszących potencjał tolerancji organizmu, a stosowany przez dłuższy czas niszczy coraz bardziej mechanizmy kompensacyjne i uzależnia daną osobę od stałego przyjmowania środków farmakologicznych.

# 5 ADAPTACJA

Niewiele jest terminów, które mają tak różnorodne znaczenie jak słowo adaptacja. Podkłada się pod tę nazwę różne, nie mające ze sobą nic wspólnego pojęcia, co zazwyczaj utrudnia porozumiewanie się nawet w gronie o wąskiej specjalności naukowej. Dla jednych jest to zmiana budowy, zwykle anatomicznej, która wykształciła się na długiej drodze ewolucji, aby umożliwić dostosowanie się do wpływów środowiskowych i ułatwić przetrwanie. Inni adaptacją nazywają mechanizmy utrzymujące równowagę środowiska wewnątrzustrojowego, czyli homeostazę. Zmiany w pobudliwości narządów zmysłowych i receptorów w wyniku wielokrotnego lub długotrwałego działania specyficznego dla nich bodźca nazywa się także adaptacją.

Nie wnikając w stanowiska autorów poszczególnych definicji, przy rozważaniu zachowania się człowieka w zmienionym niekorzystnie środowisku, wydaje się, że można adaptacją nazywać każdą właściwość organizmu, która pozwala na zachowanie fizjologicznej specyfiki procesów wewnątrzustrojowych. Jest to więc zespół mechanizmów, doskonalących się w procesie przystosowawczym,

które umożliwiają najbardziej korzystne dla organizmu zachowanie wydolności w danych warunkach. Nie jest to jakaś jeszcze jedna definicja, lecz tylko uzgodnienie, co pod tą nazwą zostanie omówione w tej książce.

Każda reakcja organizmu na działanie jakiegoś czynnika zewnętrznego może być traktowana jako odpowiedź, w wyniku której zmiany wywołane tym czynnikiem są doraźnie kompensowane. W miarę powtarzania się oddziaływań danego czynnika organizm „uczy" się odpowiadać na nie i sprawniej wyrównywać zaburzenia. Proces ten jest przystosowaniem się i w rezultacie zwiększa się tolerancja czynnika, który go zapoczątkował. Zmiany przystosowawcze, które w tym wypadku powstają, mogą mieć charakter fizjologiczny, biologiczny lub dotyczyć rozwoju fizycznego.

W zrozumieniu ekologicznym adaptacją są te

Tab. 9

**Granice adaptacji drobnoustrojów do niektórych warunków środowiskowych**

| Czynnik | Granica górna | Granica dolna |
|---|---|---|
| Temperatura | +104°C (bakterie siarkowe w ciśnieniu 1000 atm.) | −18°C (grzybki, bakterie) |
| Pole elektrostatyczne | +850 mV przy pH=3 (bakterie żelaziste) | −450 mV przy pH==9,5 (bakterie siarkowe) |
| pH | 0 (*Acontium velatum*, grzybek D, *Thiobac. thiooxidans*) | 13? (*Plectonema nostocorum*) |
| Ciśnienie hydrostatyczne | 1400 atm (bakterie głębinowe oceanów) | w zasadzie 0 |
| Sole mineralne | podwójnie destylowana woda (bakterie heterotroficzne) | nasycone solanki (*Dunaliella*, bakterie halofilne) |
| P/Po (P— ciśnienie pary wodnej w rozpatrywanym materiale; Po — ciśnienie pary wodnej czystej wody) | 0,65—0,70 (*Aspergillus glaucus*) | w zasadzie 1,0 |

zmiany dostosowujące organizm do otoczenia, które są wbudowywane do kodu genetycznego, a zatem dziedziczą się. Wyniki badań ekologicznych wskazują, że nie wszystkie zmiany przystosowawcze są dla zachowania gatunku korzystne, chociaż pozwalają lepiej przeciwstawić się aktualnym wpływom środowiska. Zazwyczaj, drogą selekcji naturalnej, w procesie ewolucyjnym utrzymywane są tylko te mutacje, które w danych warunkach są najkorzystniejsze. O ile stwierdzenie to można bez większych zastrzeżeń przyjąć dla wszystkich gatunków organizmów żywych, istnieją pewne wątpliwości, czy człowiek świadomie chroniąc się przeróżnymi sposobami przed wpływami środowiska nie ogranicza wpływu tej selekcji. Pozwalając utrzymywać się mutacjom mniej wartościowym biologicznie stwarza warunki dla ich dalszego rozwoju i reprodukcji.

Zdolność przystosowawcza organizmów ziemskich jest duża (tab. 9). Zwłaszcza drobnoustroje mogą przystosować się do życia i rozwoju w bardzo niekorzystnych warunkach z punktu widzenia wymogów ekologicznych. Organizmy wyższe są bardziej wrażliwe na zmianę warunków otoczenia, jednak i tutaj stwierdza się stosunkowo duże możliwości przystosowawcze, jeśli za ich miarę przyjąć zakresy tolerancji poszczególnych czynników środowiskowych (tab. 10). Interesujące są zwłaszcza badania egzobiologiczne, przeprowadzane w celu ustalenia możliwości przetrwania i zachowania aktywności form życia spotykanego na Ziemi w warunkach istniejących na innych planetach, np. na Marsie. Pozorując warunki środowiskowe panujące przypuszczalnie na Marsie, S. M. Siegel stwierdził na przykład, że żółwie po 54-dniowym pobycie w powietrzu o ciśnieniu 0,1 atm (ciśnienie cząstkowe tlenu wynosiło tu 0,02 atm) zachowywały się bez zmian. Sprawność ich funk-

Tab. 10

**Przeciętne granice tolerancji niektórych zmian warunków środowiskowych przez niektóre wyższe organizmy**

| Czynnik | Granica | Obiekt |
|---|---|---|
| Ciśnienie atmosferyczne, kG/cm² | 0,10 | termity, konik polny, mrówka |
| | 0,12 | kondor |
| Ciśnienie cząstkowe tlenu, kG/cm² | 0,01 | żyto, ogórki |
| | 0,02 | żółw |
| | 0,03 | żuk *Passalus*, osa |
| | 0,04 | zboże, fasola (brak wytwarzania nasion), mrówka (do 48 h), dżdżownica (do 13 dni) |
| | 0,07 | człowiek (do 1 h) |
| | 0,1—0,35 | człowiek (bez ograniczeń) |
| | 0,50 | człowiek (do 8 h) |
| Temperatura powietrza °C (bez wilgotności i ruchu powietrza) | −90 | gęś (przez 1 h) |
| | −41 | lis polarny (bez ograniczeń) |
| | −23 | larwy motyli (bez ograniczeń) |
| | +40 | wiewiórka ziemna (3—4 h) |
| | +42 | iguana (bez ograniczeń) |
| | +69 | larwy muchy *Stratyomys* |
| | +81 | węgorek |
| | +44 | człowiek (3—4 h) |
| | +150 | człowiek (5 min.) |

cji i procesów fizjologicznych nie odbiegała w znaczniejszym stopniu od stanu zwierząt kontrolnych. Wiele roślin rozwijało się prawidłowo w atmosferze z zawartością tlenu poniżej 0,1% (ciśnienie cząstkowe tlenu mniejsze niż 0,01 atm). Największą odporność na warunki beztlenowe stwierdzono u żyta i ogórków, których pewne odmiany mogły przez jakiś czas rozwijać się, a nawet wytwarzać nasiona w atmosferze ze śladową zaledwie zawartością tlenu. Podobne wyniki otrzymano poddając różne organizmy żywe działaniu innych czynników przypuszczalnego środowiska marsjańskiego. Niektóre drobnoustroje i rośliny mogły rozwijać się nawet na skrajnie odwodnionym podłożu, o tak

znikomej wilgotności, jaką ma prawdopodobnie gleba marsjańska.

Aby wyjaśnić związek między wpływami środowiska a rozwojem cech przystosowawczych, należy ustalić, które z mechanizmów przystosowawczych opierają się na zakodowanych genetycznie reakcjach, a które są wynikiem oddziaływań środowiskowych jeszcze nie utrwalonych genetycznie. Przykładem konieczności takiego rozróżniania może być proces aklimatyzacji, będący wyrazem przystosowania jednostki do danych warunków klimatycznych. (Niektórzy uważają aklimatyzację za niepełną adaptację do środowiska, a w literaturze angielskiej spotyka się ponadto rozróżnienie pojęcia *acclimation* — przystosowanie do jednego czynnika środowiskowego oraz *acclimatization* — przystosowanie do naturalnych warunków środowiska, w którym działa wiele różnych czynników). Przystosowanie to nie musi być koniecznie związane z mechanizmami genetycznymi. Przenosząc np. określoną osobę z warunków nizinnych na tereny wysokogórskie stwarzamy sytuację, w której z upływem czasu nastąpią zmiany przystosowawcze w jej organizmie. Rozwinie się zdolność lepszego znoszenia niedotlenienia na skutek zwiększonej produkcji krwinek czerwonych i usprawnionej wewnątrzkomórkowej gospodarki tlenem, zwiększonego ukrwienia tkanek z powodu rozrostu naczyń włosowatych i zwiększenia ilości krwi krążącej itp. Z kolei, u osób stale przebywających w warunkach wysokogórskich wszystkie te zmiany (chociaż z nieco innym natężeniem) występują jeszcze w okresie płodowym jako wynik działania odpowiedniego genotypu. U nich będzie to więc adaptacja uwarunkowana genetycznie.

Oczywiście zdolność adaptacyjna danej jednostki, czyli zakres zmienności jej funkcji w czasie przystosowywania się do różnych warun-

ków, wiąże się z podłożem genetycznym. Dlatego właśnie pewni ludzie są od urodzenia przystosowani do znoszenia np. gorąca lub zimna, a inni muszą dopiero to przystosowanie wykształcić. A zatem ludzie o wrodzonej podatności adaptacyjnej będą mieli większy zakres możliwości przeciwstawienia się wpływom wysokiej lub niskiej temperatury, podczas gdy pozostali możliwości te będą mieli znacznie mniejsze. Zadaniem biologii jest rozróżnianie procesów tolerancji genetycznie indukowanych od wywoływanych wpływami środowiska.

Proces przystosowania się do zmienionych warunków środowiskowych ma pewne cechy, które mogą być wykorzystane w ocenie jego charakteru. Adaptacja bowiem może polegać na maksymalnym dopasowaniu procesów wewnątrzustrojowych do warunków zmienionego środowiska albo na przeciwstawianiu się im. Pierwszy typ reakcji spotykamy u zwierząt zmiennocieplnych, których temperatura wnętrza ciała waha się zgodnie ze zmianami temperatury otoczenia. Organizmy stałocieplne dysponujące odpowiednimi mechanizmami kompensującymi utrzymują stałą temperaturę wewnętrzną dzięki możliwości uruchomienia procesów termoregulacyjnych. Zwierzęta, u których zmiany środowiska powodują określone zmiany wewnętrzne, lepiej znoszą zaburzenia homeostazy niż zwierzęta utrzymujące stałość środowiska wewnętrznego. Np. u żaby, w obniżonej temperaturze, krzepliwość krwi zmniejsza się na skutek słabszej aktywności odpowiednich enzymów. Zwierzę to nie może zapobiec tym zmianom przez podniesienie temperatury wnętrza ciała tak, jak może tego dokonać każde zwierzę stałocieplne.

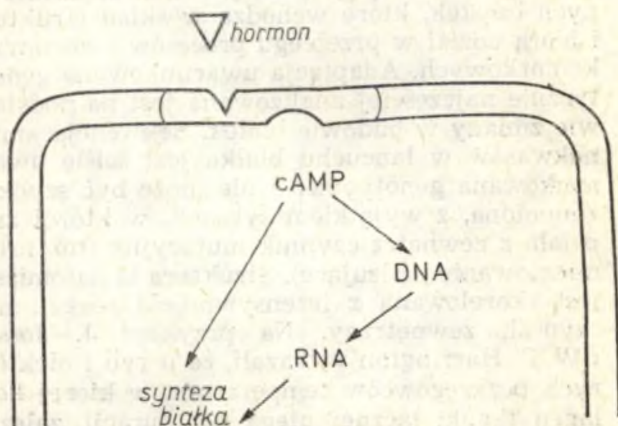
Proces przystosowawczy dotyczy zmian wywołanych różnymi wpływami środowiskowymi (adaptacja pojemności) oraz poziom tolerancji

skrajnie zmienionych czynników otoczenia (adaptacja tolerancji). W przypadku adaptacji pojemności utrzymywanie się reakcji na różne bodźce na tym samym poziomie mimo zmiany środowiska uważane jest za przejaw większych możliwości przystosowawczych. Na przykład, jak już wspomniałem, autochtoniczne szczepy ludności Australii żyją w zmiennych warunkach klimatycznych pustyni nie chroniąc się dodatkową odzieżą. Nawet w temperaturach bliskich zera reakcje wewnątrzustrojowe na obciążenie pracą pozostają bez zmian. U Europejczyka natomiast, w analogicznych warunkach, obserwuje się duże wahania procesów wewnątrzustrojowych. Reakcja serca na obciążenie w temperaturze wysokiej jest u niego większa niż w obniżonej temperaturze otoczenia. Znaczy to, że adaptacja pojemności odpowiedzi jest u Australijczyka lepiej wykształcona niż u Europejczyka.

Mechanizmy adaptacyjne mogą przebiegać na różnych poziomach. Najniższym z nich jest poziom molekularny dotyczący zmian strukturalnych cząstek, które wchodzą w skład struktur i biorą udział w przebiegu procesów wewnątrzkomórkowych. Adaptacja uwarunkowana genetycznie najczęściej analizowana jest na podstawie zmiany w budowie białek. Sekwencja aminokwasów w łańcuchu białka jest ściśle uwarunkowana genotypowo i nie może być szybko zmieniona, z wyjątkiem sytuacji, w której zadziała z zewnątrz czynnik mutacyjny (np. promieniowanie jonizujące). Struktura ta natomiast jest skorelowana z intensywnością reakcji na czynnik zewnętrzny. Na przykład J. Josse i W. F. Harrington wykazali, że u ryb i niektórych bezkręgowców temperatura, w której kolagen tkanki łącznej ulega denaturacji, zależy od zawartości w nim proliny i hydroksyproliny. U bakterii przystosowanych do bytowania w

wysokich temperaturach (np. bakterie siarkowe) o tolerancji tej decyduje białko flagelina. Poziom tolerancji wysokich temperatur jest przy tym zależny od obecności we flagelinie aminokwasów zdolnych przyłączać jony wodoru lub tworzyć wiązania wodorowe.

Synteza białek, które używane są do budowy struktur wewnątrzkomórkowych, enzymów, hormonów i innych substancji regulujących procesy przemiany, dokonywana jest poprzez mechanizm transkrybcji i translacji. Zapoczątkowany w DNA proces ten jest następnie przenoszony przez RNA do miejsc, gdzie odbywa się synteza. W ten sposób kod genetyczny zawarty w DNA steruje przebiegiem syntezy białkowej. Modyfikacja szybkości syntezy odbywa się poprzez również zakodowany w DNA mechanizm tzw. chrononu (wewnątrzkomórkowego zegara), przy czym modelujący wpływ mogą mieć bodźce dopływające do komórki z zewnątrz (rys. 11). Pośrednikiem wewnątrzkomórkowym jest najczęściej cykliczny adenozynomonofosforan, któ-




**Rys. 11. Schemat modelującego wpływu hormonu na syntezę białek, kontrolowaną przez DNA.**

ry także zapoczątkowuje różne przemiany wewnątrzkomórkowe aktywując odpowiednie enzymy. Czynniki zewnętrzne mają w ten sposób wpływ zarówno na działalność DNA, jak też na ogniwa pośrednie w syntezie białek, gdzie następuje przekazywanie informacji zakodowanej w DNA. Wielokrotne lub długotrwałe działanie czynnika zewnętrznego spowoduje w tym wypadku utrwalenie się odpowiedzi na to działanie, które może dotyczyć struktury DNA lub enzymów syntezy białkowej. Badania adaptacji enzymatycznej potwierdziły powyższe uogólnienia. Na przykład, działając niską temperaturą, uzyskano zwiększenie ilości cząstek enzymów syntezy białkowej. Powodowało to w konsekwencji przyspieszenie tej syntezy. Przypuszczalnie występuje tu także zmiana struktury enzymów bez zmiany ich funkcji. Enzymy o tym samym działaniu, lecz pochodzące np. ze skóry i wątroby, wykazują duże różnice aktywności przy zmianie temperatury otoczenia. Enzymy produkowane w wątrobie są na obniżenie temperatury bardzo wrażliwe, natomiast enzymy skórne znoszą dość duże jej wahania w niewielkim tylko stopniu zmieniając swoją aktywność.

Zwiększenie ilości syntetyzowanych cząstek enzymów pod wpływem działania bodźca dotyczy oczywiście nie wszystkich postaci tych biokatalizatorów. Ponadto, nawet w danym typie, wzrost ten nie obejmuje wszystkich form enzymatycznych. Wiadomo, że niektóre białka enzymatyczne występują pod postaciami zachowującymi się różnie w stosunku do pewnych substratów ogniwa przemiany, w którym działają katalizująco. Te tzw. izoenzymy są wybiórczo wrażliwe na wpływy czynników zewnętrznych. Zjawisko to występuje powszechnie i nawet niektórzy badacze przyjmują, że jest to najważniejszy mechanizm procesów aklimaty-

zacyjnych, które nie mają jeszcze podłoża genetycznego.

Oprócz białek, również inne składniki komórkowe mogą zmieniać budowę pod wpływem działania czynników środowiskowych. Przykładem mogą tu być lipidy i fosfolipidy. Wykazano, że syntetyzowane w niskiej temperaturze otoczenia mają więcej nienasyconych wiązań i dłuższe łańcuchy niż syntetyzowane w wysokiej temperaturze. Jak wiadomo, niektóre z tych kwasów (kwas linolowy, linoleinowy, arachidonowy i inne) nie są przez organizm syntetyzowane i muszą być pobierane z zewnątrz. Natomiast ich znaczenie jest bardzo duże m.in. jako składników błon komórkowych i osłon włókien nerwowych, gdzie spełniają rolę izolatora umożliwiającego przebieg prądów bioelektrycznych.

Ze wszystkich gatunków organizmów żywych człowiek przypuszczalnie ma największą zdolność przystosowawczą. Chociaż uwarunkowana genetycznie, w dużym stopniu opiera się ona na mechanizmach niegenetycznych, indukowanych wpływami zewnętrznymi z pominięciem DNA. Genetycznie wyznaczone granice tolerancji są przy tym bardzo dalekie od poziomu optymalnego. Ułatwia to przystosowanie do warunków środowiskowych bez zmiany kodu genetycznego.

Stwierdzone przejawy adaptacji zależą oczywiście od czynników, do których to przystosowanie się odnosi. Na przykład dłuższy pobyt na dużej wysokości, w górach, wywołuje w organizmie człowieka szereg zmian, których celem jest lepsze wykorzystanie tlenu dostarczanego z wdychanym powietrzem. Zmiany te — to przede wszystkim rozszerzenie naczyń krwionośnych oraz przyspieszenie akcji serca i zwiększenie ilości krwi w naczyniach obwodowych, a później — również przebudowa strukturalna

tkanek. W tkankach zwiększa się liczba naczyń krwionośnych, zwłaszcza kapilarów, co wraz ze wzrostem liczby krwinek czerwonych polepsza ukrwienie i dostawę tlenu. Niezależnie od wymienionych zjawisk powstają w organizmie zmiany wspomagające, które ułatwiają łączenie się tlenu z hemoglobiną. Zmianą taką jest przede wszystkim tzw. zasadowica we krwi (podwyższenie pH), której współtowarzyszą odpowiednie odchylenia w wydalaniu amoniaku i dwuwęglanów przez nerki oraz osłabienie sekrecji soku żołądkowego wraz ze zmniejszeniem w nim zawartości kwasu solnego. Powyższe odchylenia biochemiczne, będące następstwem kompensacji obniżenia ciśnienia cząstkowego dwutlenku węgla w płucach na skutek hiperwentylacji, utrudniają jednak oddawanie tlenu w tkankach. W efekcie końcowym nie polepsza to tolerancji niedotlenienia, lecz jest silnym bodźcem pobudzającym czynność krwinkotwórczą szpiku kostnego. Następuje również przyspieszenie i pogłębienie oddechów. W miarę pobytu we wspomnianych warunkach niedotlenienia zwiększa się stopniowo pojemność dyfuzyjna płuc umożliwiając szybsze i łatwiejsze przechodzenie tlenu do krwi.

Wiele uwagi poświęcono zmianom adaptacyjnym przemiany materii występującym przy niedotlenieniu. W adaptacji wysokościowej następuje wzrost ilości niektórych enzymów oddechowych, szczególnie cytochromu C i oksydazy cytochromowej, a ponadto zwiększenie ilości mioglobiny (białko transportujące tlen) oraz adenozynotrójfosforanu (ATP), który jest bezpośrednim dostawcą energii do komórek. Również sztuczny dowóz cytochromów podnosi tolerancję niedotlenienia, mierzoną m.in. aktywnością bioelektryczną mięśnia sercowego. Wzrost aktywności i ilości powyższych substancji, które biorą udział w procesach przemiany

tlenowej, jest krótkotrwały. U osób w pełni przystosowanych wzrost ten jest znacznie słabszy wskazując także na obecność innych dróg przystosowania do niedotlenienia. Przede wszystkim należy tu wymienić procesy energetyczne przebiegające bez udziału tlenu. Wyrazem intensyfikacji tych procesów jest zwiększenie aktywności aldolazy i adenozynotrójfosfatazy — enzymów tych przemian — oraz zmniejszenie poboru tlenu i tzw. długu tlenowego podczas wykonywania tej samej pracy w porównaniu z analogicznymi warunkami na mniejszej wysokości.

W pierwszym okresie niedotlenienia, w czasie rozwijania się procesów adaptacyjnych, następuje ogólne pobudzenie ośrodkowego układu nerwowego oraz niektórych funkcji sterowanych przez hormony. Wzrasta wyraźnie pobudliwość ośrodków kontrolujących oddychanie, czynność serca, skurcz naczyń krwionośnych i innych ośrodków, zwłaszcza współczulnej części układu wegetatywnego, pobudzenie sekrecji rdzenia i kory nadnerczy oraz wzmożone wydzielanie hormonu adrenokortykotropowego (ACTH) przez przysadkę mózgową. Część tych zmian ma charakter reakcji stresowej. Pobudzenie układu nerwowego rozciąga się na narządy zmysłów i wzmaga odruchy. Wszystkie te zmiany, w miarę pobytu na dużej wysokości, stopniowo się normalizują i po osiągnięciu pełnej adaptacji poszczególne procesy i funkcje niewiele się różnią od analogicznych procesów przebiegających w organizmach żyjących w warunkach nizinnych.

Analiza mechanizmów przystosowawczych, które się uaktywniają w środowisku o podwyższonej temperaturze, ujawnia inne struktury objęte działalnością adaptacyjną. Nie wszystkie one są wyjaśnione i nie zawsze zaobserwowane zjawiska przystosowawcze potrafimy sobie

wytłumaczyć. Najwięcej prac poświęcono zbadaniu regulacji produkcji ciepła w organizmie. W środowisku, gdzie panują wysokie temperatury, przemiana materii dostarczająca m.in. energii na podtrzymanie podstawowych funkcji wegetatywnych organizmu pozostającego w całkowitym spoczynku (tzw. podstawowa przemiana materii) obniża się. Zmniejsza się także całkowita ilość energii wydatkowana na pracę. Nie ma jednak dostatecznie pewnych dowodów na to, że to obniżenie produkcji, w tym także cieplnej, jest związane z bardziej ekonomicznym jej wykorzystaniem w tkankach. Zmniejszenie to spowodowane jest raczej pełniejszym rozluźnieniem mięśni w czasie spoczynku oraz wykonywaniem maksymalnie oszczędnych ruchów w czasie pracy. Niemniej osoby, które mają genetycznie uwarunkowaną lub treningiem nabytą zdolność lepszego wykorzystywania produkowanej energii, znoszą wysokie temperatury znacznie lepiej i znacznie szybciej się do nich przystosowują.

Z produkcją ciepła wiąże się ściśle jego wydalanie. W procesie aklimatyzacyjnym czynnik ten odgrywa także pewną rolę, chociaż może mniejszą niż to się na ogół przyjmuje. Rzeczywiście u osób przystosowanych do przebywania w wysokich temperaturach stwierdza się mniejszą pobudliwość ośrodków termoregulacji zarówno w spoczynku, jak też podczas wykonywania pracy fizycznej. Z dotychczasowych wyników badań nie można wnioskować, w jakim stopniu w procesie pozbywania się nadmiaru ciepła przez pocenie się (zwłaszcza podczas pracy) bierze udział ekonomizacja ruchów u osób przystosowanych. Badania w tym zakresie, przeprowadzone na zwierzętach, nie dały jednoznacznej odpowiedzi, czy w omawianych warunkach wrażliwość gruczołów potowych się zmienia.

Z mechanizmem pocenia się związana jest pobudliwość układów termoregulacyjnych. Są pewne przesłanki, by przypuszczać, że pobudliwość ta podczas adaptacji do gorąca zwiększa się, uczulając ośrodki termoregulacji na podniesienie temperatury wnętrza ciała. W ten sposób szybciej zostają uruchomione procesy, które prowadzą do ograniczenia produkcji ciepła i zwiększenia jego wydalania w porównaniu z analogicznymi procesami u osób niezaaklimatyzowanych. Zakres tych zmian przystosowawczych i ich rola w ogólnym zespole adaptacyjnym do wysokich temperatur otoczenia nie jest jednak dotąd wyjaśniona.

Dużo uwagi przywiązuje się do zmian adaptacyjnych tzw. fizjologicznego kosztu procesów termoregulacyjnych. Każdy wysiłek, każda czynność organizmu i każdy proces wewnątrzustrojowy wymaga pewnej ilości energii, którą otrzymuje z przemian substancji energetycznych. Dla dokonania tych przemian muszą jednak być spełnione pewne warunki, w tworzeniu których biorą udział różne współdziałające układy. Na przykład w pracy mięśniowej wyzwolenie energii z substratów wymaga dostarczenia do miejsc przemiany odpowiednich jonów, tlenu, a także zapoczątkowania i sterowania całością reakcji, która w efekcie dostarczy energię pracującym mięśniom. Nasilenie procesów wspomagających (np. pobudzenie ośrodków nerwowych lub wzmożenie czynności hormonalnej) nie zawsze jest wymierne w jednostkach pracy. Trudność tę omija się korzystając z metody opisowej. Rezultaty tego opisu ujmuje się nazwą kosztu fizjologicznego.

Uruchomienie i przeprowadzenie reakcji termoregulacyjnych wymaga także pewnego kosztu fizjologicznego. Rozszerzenie naczyń krwionośnych i zwiększona utrata wody przez parowanie w pierwszym okresie procesu aklimaty-

zacyjnego powoduje kompensacyjne zwiększenie ilości krążącej krwi oraz objętości płynu tkankowego. Utrata sodu i chloru z potem powoduje zatrzymywanie związków zawierających te pierwiastki (głównie NaCl) w nerkach. W efekcie dochodzi do zmniejszenia wydalania moczu, nawet poniżej 50% normalnej ilości. Reakcje te są pod kontrolą aldosteronu, hormonu, którego wydzielanie regulują ACTH i przysadka mózgowa oraz hormon adrenoglomerulotropowy szyszynki. Z upływem czasu zmiany w produkcji hormonów i poszczególne inne procesy wracają do poziomów wyjściowych. Na przykład wydalanie chlorku sodu u osoby nie zaaklimatyzowanej do wysokich temperatur dochodzi do 10—15 g dziennie, podczas gdy po przystosowaniu zmniejsza się do 1—2,5 g. Zawartość soli w pocie także się zmniejsza. Jak podaje Douglas K. H. Lee, u mieszkańców Australii zawartość NaCl w pocie wynosi poniżej 1 g/l, podczas gdy u mieszkańców Londynu, o tym samym profilu odżywiania, sięga powyżej 2 g/l. Tak więc w początkowym okresie przystosowywania się do gorąca następuje wzmożenie kosztu fizjologicznego procesów termoregulacyjnych. Osiąganie adaptacji jest zbieżne ze stopniowym obniżaniem się tego kosztu do wartości wyjściowych, a nawet poniżej tych wartości. Jest to przypuszczalnie możliwe dzięki przystosowaniu przemian wewnątrzustrojowych do zmniejszenia produkcji ciepła. Nie zostało to jednak dotąd dokładnie wyjaśnione.

Ostatni z możliwych mechanizmów adaptacji do wysokich temperatur, mianowicie zwiększenie tolerancji na zmiany wywołane procesami termoregulacyjnymi, u człowieka odgrywa niewielką rolę. U niektórych zwierząt natomiast mechanizm ten ma duże znaczenie, a w świetle ewolucji jest szczytową formą przystosowania organizmu do gorąca. Największą rolę odgrywa

tu zwiększenie tolerancji odwodnienia organizmu, które jest wynikiem utraty wody z potem podczas równoczesnego ograniczenia jej dostawy do organizmu. Na przykład jak wykazały doświadczenia, u wielbłąda, który w ciągu 9 dni przebywał w temperaturze około 40°C i nie dostawał wody do picia, utrata wody wynosiła 19—21% całkowitego ciężaru ciała. Nie stwierdzono przy tym zaburzeń nieodwracalnych, a stan wydolności poddanych eksperymentowi zwierząt był względnie zadowalający. Napojenie spowodowało u nich szybkie (w ciągu doby) wyrównanie zawartości wody w tkankach.

Adaptacja do zimna nadaje gospodarce energią cieplną kierunek odwrotny. Wszystkie reakcje termoregulacyjne mają w tym wypadku na celu zwiększenie produkcji ciepła i jego zatrzymanie w organizmie. Zazwyczaj wyróżnia się w tym procesie lokalne i ogólne reakcje przystosowawcze. Wśród reakcji lokalnych na czoło wysuwa się wrażliwość receptorów zimna na obniżoną temperaturę. W miarę przedłużania się czasu przebywania w chłodzie wrażliwość ta coraz bardziej się zmniejsza. Zmniejsza się także wrażliwość innych komórek warstw powierzchownych. Proces ten jest szczególnie wyraźny w obrębie dłoni, gdzie dzięki zmniejszeniu wrażliwości receptorów utrzymuje się wyższy przepływ krwi. Pozwala to na dopływ większej ilości ciepła do tych okolic oraz zapobiega, przy równoczesnym zmniejszeniu wrażliwości tkanek, wystąpieniu odmrożeń. Jednakże mechanizm tych zmian jest jeszcze daleki od wyjaśnienia.

Wśród ogólnych procesów przystosowawczych do zimna stwierdzono trzy typy mechanizmów, które pozwalają tolerować obniżenie temperatury otoczenia. Pierwszym z nich jest proporcjonalne do spadku temperatury obniżenie temperatury ciała. Mechanizm ten jest szeroko wy-

korzystywany przez zwierzęta zmiennocieplne oraz, sezonowo, przez zwierzęta hibernizujące, czyli zapadające w sen zimowy. U człowieka, gdzie temperatura wnętrza ciała jest utrzymywana na stałym poziomie, mechanizm ten nie ma większego znaczenia.

Drugim typem mechanizmów ogólnej adaptacji jest zwiększenie produkcji ciepła. W mniejszym stopniu dotyczy to przemiany podstawowej. Niektórzy badacze stwierdzali jej wyższy o około 5% poziom u Eskimosów oraz u przybyszów do okolic leżących poza kołem polarnym. Dane te nie są jednak przez wszystkich potwierdzane. Dużo większe natomiast znaczenie ma produkcja ciepła związana z pracą mięśni. W pierwszym okresie jest to wzmożone napięcie mięśni i ich szybkie, niewielkie skurcze (drżenie). Z upływem czasu, w procesie przystosowawczym, ten sposób produkcji ciepła stopniowo ustępuje. Zwiększenie ilości wytwarzanego ciepła organizm osiąga przez nasilenie przemian energetycznych pracy mięśniowej.

Zapobieganie utracie ciepła z organizmu jest trzecim mechanizmem adaptacji do zimna. Następuje to poprzez zwiększenie właściwości izolacyjnych tkanek powierzchownych. Organizm człowieka wykorzystuje tu głównie małe przewodnictwo cieplne tkanki tłuszczowej, której grubość się zwiększa. Chociaż zmiany te są z punktu widzenia fizyki niewielkie (1—2 mm u osób, które nie tyją w tym czasie z powodu przekarmienia lub zaburzeń neurohumoralnych), mają one jednak duże znaczenie biologiczne. U zwierząt rolę izolatora odgrywa również sierść. Ten mechanizm u człowieka w procesie ewolucyjnym uległ zanikowi.

Odrębnym zagadnieniem jest adaptacja do pracy fizycznej. Pomijając zmiany hemodynamiki, oddychania, intensywności przemian energetycznych i inne, które występują podczas wy-

konywania każdej pracy, zatrzymajmy się jedynie na zmianach wewnątrzkomórkowych, spowodowanych długotrwałym wpływem jednego rodzaju pracy na określone mięśnie. Ukształtowanie przemian energetycznych w komórkach mięśniowych jest wynikiem wielowiekowych zmian adaptacyjnych, które utrwaliły się w genotypie człowieka. Te uwarunkowania genetyczne stanowią potencjalne możliwości, które następnie rozwijane są w życiu osobniczym. Młody organizm wzrasta w warunkach środowiskowych kształtujących te możliwości. Dokonuje się to zwłaszcza pod wpływem działalności zawodowej, jednakże aktywność ruchowa poza miejscem pracy wpływa także na możliwości wydolnościowe, rozszerzając je lub modyfikując w zależności od charakteru tej pracy.

Genetycznie człowiek jest przystosowany do dużej aktywności ruchowej. Jej zmniejszenie powoduje powstanie różnych chorób lub nasilenie częstości ich występowania, co określa się ogólnie jako „uszkodzenia cywilizacyjne". Wskazywałoby to, że zdolność tolerancji siedzącego trybu życia przez człowieka jest stosunkowo mała. Świadczy o tym nasilenie w krajach gospodarczo rozwiniętych chorób wieńcowych serca i otyłości w miarę postępu automatyzacji różnych czynności zawodowych i ograniczenia okazji do ruchu w życiu codziennym. Jednakże rodzajów wysiłków fizycznych jest wiele i od dawna intryguje fizjologów pytanie, czy genetyczne uwarunkowania mogą obejmować lepsze przystosowanie do niektórych prac. Zagadnienie to jest ważne szczególnie w sporcie, gdzie trener winien wiedzieć, czy wystarczy odpowiedni trening przygotowujący zawodnika do startu, czy też należy także brać pod uwagę wrodzone dyspozycje.

Badania wykazały, że w mięśniach zwierząt

i człowieka można wyróżnić włókna kurczące się wolno, lecz obdarzone zdolnością do pracy przez długi czas oraz włókna przystosowane do wysiłków krótkotrwałych. Z uwagi na ich wygląd nazwano je czerwonymi i białymi. Podział ten utrzymano do dziś, mimo że został w ostatnich latach uzupełniony nowymi faktami, które go w pewnym stopniu podważają.

Jak wykazały badania biochemiczne, włókna „wolne" zawierają dużą ilość glikogenu i enzymów biorących udział w przemianach tlenowych. W przeciwieństwie do tego, we włóknach „szybkich" glikogenu jest znacznie mniej. Zawierają one za to dużą ilość adenozynotrójfosforanu (ATP), którego rozpad jest źródłem energii, wykorzystywanej przez aparat kurczliwy mięśnia w pracy. Dla ilustracji można podać, że np. mięsień najszerszy grzbietu (*latissimus dorsi*) w porównaniu z mięśniem szerokim bocznym (*vastus lateralis*) zawiera trzy razy więcej ATP, jest 15 razy szybszy w skurczu, lecz 60 razy szybciej się męczy. W mięśniach „wolnych" mniej jest także enzymów rozkładających ATP oraz fosfokreatynę. Z uwagi na to, że ta ostatnia substancja jest źródłem energii do ponownej syntezy rozłożonego ATP, w mięśniach „wolnych" resynteza ATP musi odbywać się głównie z wykorzystaniem przemian tlenowych, bez większego udziału fosfokreatyny.

Dokładne badania biochemiczne potwierdziły powyższe uogólnienia i wykazały, że występują ponadto duże różnice w zawartości różnych innych substratów energetycznych i enzymów. Mięśnie „wolne" zawierają także więcej enzymów rozkładających tłuszcze i wolne kwasy tłuszczowe, które w długotrwałych wysiłkach są głównym źródłem energetycznym. Różnice w poziomie aktywności i w ilości enzymów mię-

dzy obu typami włókien są tak duże, że na ich podstawie można z dużą dokładnością określić stopień przystosowania do wykonywania pracy wytrzymałościowej i szybkościowej. Dzięki temu można wyraźnie zróżnicować i określić przydatność różnych zwierząt do określonego typu wysiłków. Próbuje się to także wykorzystać w sporcie dla ustalenia predyspozycji określonych osób do uprawiania określonej dyscypliny sportowej i ukierunkowania ich treningu. Oczywiście, poszczególne włókna mięśniowe nie są jednolicie rozmieszczone. Zarówno w mięśniach szybkich, jak i wolnych występują różne typy włókien. Nazwa „szybki" i „wolny" związana jest z właściwościami czynnościowymi całego mięśnia i wskazuje, jaki typ włókien w danym mięśniu przeważa.

Poznanie biochemicznych podstaw przystosowania do różnych rodzajów pracy pozwoliło sformułować pytanie, czy drogą treningu jest możliwa zmiana genetycznego uwarunkowania biochemicznej budowy włókien mięśniowych. Przeprowadzone w tej dziedzinie badania wykazały, że taka możliwość istnieje. Zmiana tego rodzaju dokonuje się przez przekształcenie struktury enzymatycznej i zmianę ilości substancji, na które te enzymy wpływają. Histologicznie w takich wypadkach stwierdza się przekształcenie jednych włókien w inne, na przykład — szybkich w wolne. Zmiany takie odbywają się na drodze procesów adaptacyjnych nie uwarunkowanych genetycznie. Zmiany te są daleko posunięte i zbliżają trenowane włókna pod względem biochemicznym do włókna genetycznie uwarunkowanego, jednak pewne różnice pozostają. Być może, właśnie dlatego nie udało się dotąd całkowicie zmienić struktury włókien jednego typu mięśnia na inny.

Oczywiście, nie wszystkie powyższe przejawy

adaptacyjne można uznać za korzystne dla funkcjonowania organizmu. Dotyczy to zwłaszcza tych procesów adaptacyjnych, które powstają w wyniku długotrwałego działania czynnika o poziomie zbliżonym do maksymalnie tolerowanego. Przykładem może tu być zwiększenie liczby kapilar w tkankach jako odpowiedź na niedotlenienie i konieczność podwyższenia ilości tlenu dopływającego z krwią. Reakcja celowa i bardzo potrzebna, ale tylko do pewnych granic. Nadmierne powiększenie liczby kapilar wywołuje ucisk na komórki je otaczające. Zjawisko to może przybierać groźne rozmiary zwłaszcza w mózgowiu, gdzie ze względu na ograniczenie objętości czaszki taki ucisk znacznie szybciej prowadzi do uszkodzeń i zniszczeń komórek.

Innym przykładem są wyniki badań możliwości przystosowania się do wzrastających dawek substancji trujących. Eksperymenty na myszach wykazały, że dodawanie na przykład arszeniku do pokarmu, w dawkach stopniowo zwiększanych, powoduje po pewnym czasie pojawienie się odporności na tę truciznę. Odporność ta, utrzymywana przez pokolenia, z upływem czasu genetycznie się utrwalała. W ten sposób nowe pokolenie myszy miało już wstępnie zwiększoną tolerancję tej trucizny. Jednakże, przekroczenie pewnej wysokości dawki (zależnej od szybkości jej zwiększania) lub zbyt szybkie jej zwiększanie wywoływało w czasie przystosowywania zwierząt nagłe objawy załamania się wspomnianej tolerancji. Zwierzęta takie traciły zdolność znoszenia tej trucizny, a nawet często były bardziej wrażliwe na jej podanie niż zwierzęta kontrolne. Tego rodzaju zjawisko stwierdza się także u człowieka podczas nieumiejętnego, zbyt szybkiego przystosowywania się do jakiegoś czynnika środowiskowego, jak np. wysokiej temperatury lub zwiększonego stężenia tlenku węgla (palacze). W ada-

ptacji do niedotlenienia można czasem zaobserwować nie wyjaśnione dotychczas nagłe załamanie się mechanizmu przystosowywania, powodujące obrzęk płuc, niewydolność krążenia, a nawet śmierć, chociaż stopień niedotlenienia nie przekraczał granic przeciętnie tolerowanych.

Odmienność procesów przystosowawczych, zależna od bodźców (czynników środowiskowych), które ją wywołują, nie pozwala na wypracowanie dla wszystkich warunków tych samych metod zwiększających możliwości adaptacji. Każdy z bodźców będzie wywoływał specyficzne dla siebie procesy, które nie dadzą się w zasadzie przenieść do innych zespołów adaptacyjnych. Niemniej, niektóre z nich, występujące w kilku zespołach przystosowawczych, są do siebie podobne. Umożliwia to wytwarzanie adaptacji do jednego czynnika poprzez adaptację do czynnika innego.

Najwięcej prac w tym zakresie wykonano analizując tolerancję czynników środowiskowych i jej współzależność z aktywnością ruchową. Doświadczalnie potwierdzono, że marsze, gimnastyka, sport itp. mają dodatni wpływ na poziom tolerancji przyspieszenia, niedotlenienia, promieniowania jonizującego oraz działania wysokiej i niskiej temperatury. Znany jest także wpływ ruchu na ogólny stan zdrowia. Wielokrotnie stwierdzono dodatni wpływ ruchliwego trybu życia na ogólny stan zdrowia oraz swoistą i nieswoistą odporność przeciwzakaźną. Aktywność ruchowa podnosi ponadto zdolność do pracy. Wiąże się to nie tylko z kształceniem nawyków przydatnych w pracy, lecz łączy z pośrednim wpływem na cały potencjał wydolnościowy, czyli fizjologiczne przystosowanie do wykonywania pracy.

Powiązanie między rodzajem aktywności ruchowej a zdolnością do wykonywania zawodu

znajduje liczne uzasadnienia w wynikach badań charakteru treningu przystosowawczego. Przykłady można znaleźć w sporcie wyczynowym, gdzie dla osiągnięcia możliwie najwyższego wyniku szczególnie dobre skutki daje trening ruchów bezpośrednio związanych ze specyfiką danej dyscypliny i kształcący podłoże fizjologiczne zdolności do tego wysiłku. Wpływ odpowiedniego ukształtowania możliwości fizjologicznych do wykonywania wysiłku na wydajność pracy stwierdzono także w pracach montażowych, szybkości przyswajania techniki pilotażu, pracach fizycznych w wysokiej i niskiej temperaturze, przenoszeniu ciężarów, pracy w hałasie i w niedotlenieniu oraz pracy operatora, chociaż badania przeprowadzane bezpośrednio w miejscu pracy są stosunkowo nieliczne i niekompletne.

Szczególnie atrakcyjna jest możliwość wykorzystania aktywności ruchowej w adaptacji do środowiska bytowania i pracy. Trzeba jednak wiedzieć, które z procesów przystosowujących do określonego rodzaju wysiłków fizycznych są podobne lub identyczne z procesami kompensującymi ujemny wpływ czynników środowiskowych. Na przykład, badając skuteczność treningu sportowego dla adaptacji do przebywania w warunkach niedotlenienia, stwierdzono, że zarówno w pracy fizycznej, jak też w przypadku niedotlenienia pojawiają się takie reakcje, jak uwalnianie krwinek czerwonych zmagazynowanych w śledzionie do krwi obwodowej, zwiększona ich produkcja w szpiku kostnym, zwiększenie aktywności enzymów oddechowych, mioglobiny, enzymów biorących udział w beztlenowej fazie odbudowy glukozy, większa mobilizacja wolnych kwasów tłuszczowych i wiele innych reakcji, ułatwiających przebieg procesów energetycznych oraz pozwalających na lepsze gospodarowanie uwalnianą energią. Stwierdza

się również podobne skutki fizjologiczne adaptacji do niedotlenienia i treningu fizycznego badając stresową odpowiedź na bodźce zewnętrzne.

Nie wszystkie jednakże rodzaje wysiłków fizycznych w jednakowym stopniu zwiększają tolerancję niedotlenienia. Na przykład trening fizyczny przeprowadzony u szczurów, który składał się głównie z ćwiczeń siłowo-statycznych, czyli obciążania mięśni bez wykonywania ruchów, nie zwiększał tolerancji niedotlenienia, w przeciwieństwie do treningu dynamiczno-wytrzymałościowego (np. długotrwały bieg). Trening wytrzymałościowy zwiększał u zwierząt doświadczalnych odporność na wystąpienie przykurczów i drgawek z powodu dużego niedoboru tlenu podczas przebywania zwierząt na wysokości.

Przeprowadzono także doświadczenie w celu wyjaśnienia wpływu różnych ćwiczeń fizycznych na poziom tolerancji przyspieszeń. Uzyskano w nim potwierdzenie celowości wykorzystania ukierunkowanego treningu fizycznego w procesach przystosowawczych do zmian środowiskowych. Przyspieszenia występujące zwłaszcza podczas lotu samolotem wywołują w organizmie pilota szczególnie duże i szybko narastające zaburzenia wewnątrzustrojowe, dotyczące przede wszystkim czynności układu krążenia. Najpoważniejszym zaburzeniem jest przemieszczanie się krwi w łożysku naczyniowym pod wpływem bezwładności, prowadzące do powstania obszarów niedokrwienia i przekrwienia z wszystkimi wynikającymi stąd konsekwencjami. Ponadto powstają liczne reakcje odruchowe z powodu podrażnienia reagujących na zmiany ciśnienia baroreceptorów rozmieszczonych w tkance otaczającej narządy wewnętrzne, które przesuwają się w wyniku bezwładności. W przypadku dłuższego działania przyspie-

szeń powstają zaburzenia będące wynikiem niedotlenienia słabo ukrwionych tkanek.

Najistotniejszym mechanizmem obronnym przed działaniem przyspieszeń są zatem wszelkie reakcje, które przeciwdziałają przemieszczaniu się krwi i innych płynów wewnątrzustrojowych oraz luźno zawieszonych narządów. Obok zwiększenia ogólnego tzw. tonusu mięśni, zwłaszcza brzusznych, szczególna rola w kompensacji zaburzeń przypada w tym wypadku skurczowi naczyń krwionośnych. Szybkość powstania i intensywność tego skurczu jest wprost proporcjonalna do tolerancji przyspieszeń, będąc nawet przez niektórych uważana za wskaźnik tej tolerancji. Chcąc więc drogą treningu fizycznego podnieść tolerancję przyspieszeń, należy stosować takie ćwiczenia, które wywołują intensywny skurcz naczyń krwionośnych. Są to np. sprinty wykonywane w bezdechu lub biegi na średnich dystansach, w czasie wykonywania których zadaniem odruchowego skurczu naczyń krwionośnych jest dostawa do tkanek tlenu i substancji energetycznych przez utrzymanie wysokiego ciśnienia krwi. Porównanie efektów treningowych z zastosowaniem różnych programów ćwiczeń potwierdziło powyższe przypuszczenia, wykazując zwłaszcza przydatność programu zawierającego 50—60% zajęć na lotniczych przyrządach gimnastycznych (loping, batut, koło reńskie, koło żyroskopowe), gdzie dynamika ruchu i jego intensywność są szczególnie duże.

Podobne zbieżności mechanizmów kompensujących zaburzenia, które powstały w wyniku oddziaływań środowiskowych, stwierdza się także w stosunku do innych czynników środowiska i pracy. Niestety, zbyt mało dotąd uwagi przywiązuje się do tego zagadnienia, które niewątpliwie ma bardzo duże znaczenie praktyczne. Jego wyjaśnienie mogłoby w dużym stopniu

przyczynić się do usprawnienia zagadnień selekcji i doboru do różnych zawodów oraz polepszyć możliwości tolerancji różnych niekorzystnych wpływów środowiska pracy.

# 6 ŚRODOWISKO A STARZENIE SIĘ

Należy zawsze o tym pamiętać, że długość życia nie jest równoznaczna z utrzymywaniem się sprawności fizycznej i umysłowej. Obserwując starsze osoby można łatwo stwierdzić, że niektóre z nich, mimo podeszłego wieku, zachowują wyjątkowo dużą żywotność, sprawność fizyczną, pamięć i pełną zdolność krytycznej analizy myślowej. I odwrotnie, w wieku zaledwie czterdziestu kilku lat spotykamy wręcz „starców" zniedołężniałych fizycznie, z daleko posuniętymi objawami „zdziecinnienia", czyli otępienia starczego. Można więc mówić o długości życia i o szybkości starzenia się jako o dwóch odrębnych procesach. Oczywiście, są one ze sobą powiązane — objawy starości stwierdza się przecież na ogół u osób w podeszłym wieku.

Długość życia jest łatwa do zdefiniowania, gdyż jest wymierną liczbą lat. Trudniejsze jest zdefiniowanie procesów starzenia się. W tej dziedzinie występuje ponadto wiele kontrowersji między poszczególnymi autorami. Charakteryzując proces starzenia można oprzeć się na następujących przejawach:

— zmiany czynnościowe i strukturalne, które występują zwykle po osiągnięciu dojrzałości płciowej,

— stopniowo zmniejszająca się zdolność do pracy, która jest podstawowym mechanizmem przeciwstawiania się ujemnym wpływom czynników środowiskowych i zaburzeniom środowiska wewnętrznego (homeostazy),

— zmiany wewnątrzustrojowe, które narastając zwiększają prawdopodobieństwo zgonu.

Oczywiście, zmiany te mogą być i są wynikiem dwóch podstawowych procesów. Pierwszy z nich to zaprogramowanie genetyczne rozwoju organizmu, którego nieodłączną częścią jest starzenie się. Program taki stwierdza się we wszystkich organizmach żywych bez wyjątku. Drugim, bardziej nas w tym miejscu interesującym procesem jest skutek przypadkowych lub stałych oddziaływań czynników ujemnych włączając w to także czynniki środowiskowe. Większość współczesnych teorii na temat długości życia przypisuje śmierć danego organizmu wpływowi nadmiernie intensywnych oddziaływań czynników środowiskowych, przy równoczesnym zmniejszaniu się tolerancji tych oddziaływań. Osłabienie tolerancji jest uwarunkowane genetycznie. Nawet w przypadku śmierci z powodu choroby uważa się, że stało się to na skutek przekroczenia możliwości przeciwstawiania się chorobie przez organizm, właśnie w wyniku starzenia się. Stąd większą uwagę przywiązuje się do biologicznej sprawności mechanizmów wewnątrzustrojowych, pomijając zwykle modyfikujący wpływ na te mechanizmy czynników środowiskowych.

Powyższe stanowisko nie wydaje się słuszne, chociaż oparte jest na pewnych przesłankach dowodowych. Jeżeli bowiem rozpatrzymy długość życia osobników tego samego gatunku w środowiskach skrajnie różniących się, odchylenia nie będą zbyt duże. Natomiast długość życia przedstawicieli różnych gatunków w tym samym środowisku jest bardzo zróżnicowana

w zależności od genetycznych uwarunkowań. Niemniej, ukształtowanie środowiska ma wpływ na długość życia w obrębie danego gatunku.

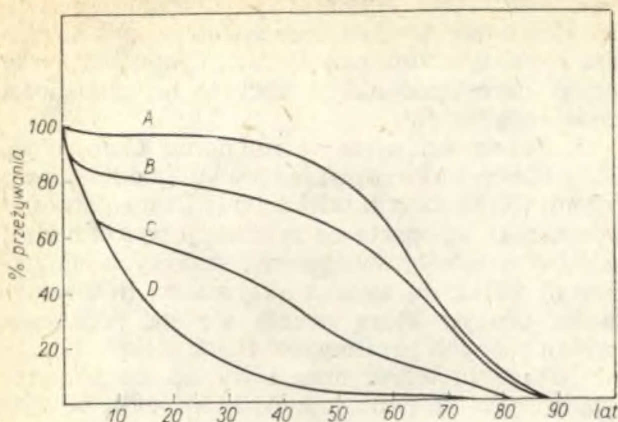
Jeżeli przyjmiemy warunki optymalne, bez większych odchyleń klimatycznych, oddziaływań stresowych lub wpływów chorób zmniejszających trwale sprawność funkcjonowania człowieka, można przez porównanie z różnymi gatunkami zwierząt stwierdzić, że czas życia człowieka winien przeciętnie wynosić 120—140 lat. Założenie to opiera się na obserwacji, że u zwierząt wyższych przeciętny czas życia jest sześcio—siedmiokrotnie dłuższy, niż czas rozwoju potrzebny do osiągnięcia pełnej dojrzałości. Potwierdzają to także obserwacje długowieczności niektórych skupisk ludzi, dokonane na Ukrainie, na Bałkanach, w Egipcie, Turcji, Himalajach i w innych okolicach kuli ziemskiej. W dużym stopniu długowieczność tę łączy się ze sposobem odżywiania i życia. Na przykład w Gruzji zachodniej, gdzie spotyka się szczególnie często osoby ponad 100-letnie, podstawą pożywienia są: miód, jarzyny, owoce i tłuszcze roślinne. Viskup, po przeprowadzeniu badań na 360 mieszkańcach krajów bałkańskich mających ponad 100 lat, doszedł do wniosku, że główną przyczyną ich długowieczności jest odżywianie się dietą jarsko-mleczną z bardzo niewielkim dodatkiem mięsa oraz okresowe posty.

McGarrison, F. O. Lorimer i inni badacze byli zafascynowani wynikami badań plemienia Hunzów żyjących w Himalajach. Wiek 120—140 lat nie należy tam do rzadkości, przy czym do późnej starości ludzie ci zachowują wysoką aktywność fizyczną i sprawność umysłową. Żyją w wyjątkowo surowych górskich warunkach, odżywiając się bardzo skromnie, pokarmem o zdecydowanej przewadze owoców i potraw mącznych. Ciekawe, że przeniesieni do innych warunków i przy zmianie sposobu odżywiania tra-

cą swe doskonałe zdrowie i sprawność psychiczną. Powrót natomiast do poprzednich warunków życia i tradycyjnego pożywienia poprawia ich stan.

Jest zastanawiające, że rozmieszczenie skupisk ludzi długowiecznych niemal dokładnie pokrywa się z geografią głodu. Wygląda to tak, jakby wbrew ustalonym przez naukę dowodom, niedożywienie i ciężkie warunki bytowania były przyczyną utrzymywania się sprawności przez długi czas oraz wydłużenia życia. Z pewnością współczesne pożywienie w krajach wysoko rozwiniętych, które daleko odbiega od pożywienia idealnego w zrozumieniu fizjologiczno-higienicznym, nie sprzyja zachowaniu długotrwałej sprawności. Sprzyja ono natomiast wybitnie powstawaniu nadwagi i otłuszczeniu oraz rozwojowi miażdżycy, która z kolei coraz bardziej upośledza dostawę krwi do komórek i ich odżywienie. Nie wydaje się jednak, aby tu należało szukać przyczyny szybszego występowania objawów starości i skracania długości życia. Jest wiele innych niemniej ważnych czynników, od których zależy długość życia i przebieg procesu starzenia się. Można do nich zaliczyć m.in. aktywność ruchową (zwłaszcza na wolnym powietrzu), zrównoważenie psychiczne i odrzucenie wszelkich używek. Należy także pamiętać o naturalnej selekcji, jaka występuje wśród osób żyjących w trudnych warunkach, które mogą przetrwać tylko jednostki wyjątkowo sprawne i odporne. Selekcja ta sprawia, że właśnie te osoby mają okazję przekazać swe cechy następnym pokoleniom, co z kolei może spowodować powstanie społeczeństwa o wysokiej — w porównaniu z innymi populacjami — biologicznej wydolności.

Wpływ doboru naturalnego na długowieczność wydają się potwierdzać wyniki badań zależności między prawdopodobieństwem zgonu




Rys. 12. Hipotetyczne krzywe długości życia w zależności od charakteru środowiska. A — optymalne środowisko (Nowa Zelandia 1934—38); B i C — środowisko mniej korzystne (B — Włochy, 1930—32); C — Indie, 1921—30); D — środowisko wybitnie niekorzystne (prawdopodobieństwo śmiertelnych wypadków samolotowych).

i wiekiem danej grupy osób (rys. 12). Stwierdza się, że w wyjątkowo niekorzystnym środowisku prawdopodobieństwo zgonu jest wysokie we wszystkich grupach wieku. W korzystnych natomiast warunkach, dopiero w starszych grupach stwierdza się stopniowe zwiększanie się prawdopodobieństwa zgonu wraz z wiekiem.

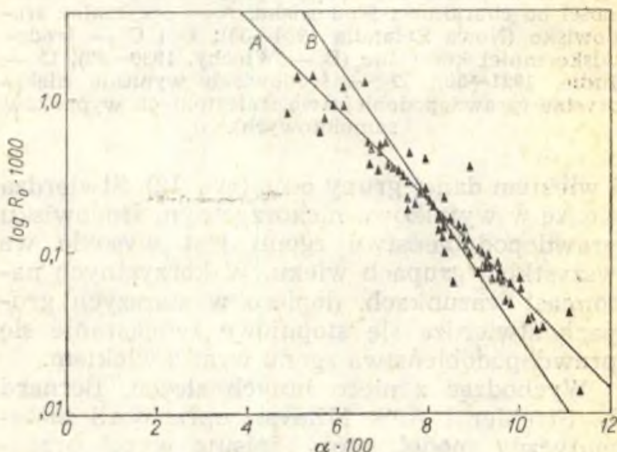
Wychodząc z nieco innych złożeń, Bernard L. Strehler i A. S. Mildvan opracowali matematyczny model, który opisuje wyżej przedstawione zależności między umieralnością a rodzajem środowiska życia. Kwintesencją tego modelu jest wykazanie, że:

1. Zgon następuje w wyniku zadziałania na organizm czynnika, który wywołuje zaburzenia przekraczające możliwości ich wyrównania przez organizm.

2. Możliwość wystąpienia takiego wpływu zmniejsza się wykładniczo w miarę, jak zwiększa się aktywność (praca) danej populacji, przy czym narastanie aktywności w tej zależności przebiega liniowo.

3. Zależności ujęte w równaniu Gompertzà, $R = R_0e^{\alpha t}$, które opisuje prawdopodobieństwo zgonu (R) w danym wieku (t) ($R_0$ i $\alpha$ są stałymi równania), są oparte na interakcji wykładniczej zmiany częstości wystąpienia skrajnych oddziaływań z liniową zmianą aktywności (intensywności pracy), którą ocenia się na podstawie zmian różnych parametrów fizjologicznych.

Obliczenia teoretyczne i wyniki badań, prowadzonych w populacjach, które żyją w różnych warunkach, wykazały, że w miarę przy-




Rys. 13. Prawdopodobieństwo długości życia w zależności od środowiska. Każdy punkt przedstawia odpowiedni kraj (według Rocznika Demograficznego ONZ). $R_0$ — prawdopodobieństwo zgonu w wieku 0 lat; — nachylenie krzywej Gompertzà (sumaryczny wpływ środowiska). Krzywe A i B obliczone na podstawie założenia, że zmniejszanie się wydolności analizowanej populacji wynosi 1,4% rocznie (A) o 1,0% rocznie (B).

bywania lat wydolność organizmu obniża się z prędkością 0,7—1,3% rocznie, przyjmując za poziom wyjściowy stan w wieku 30 lat (rys. 13). Obniżanie się to jest niezależne praktycznie od środowiska bytowania, czyli długość życia nie jest zależna od rodzaju tego środowiska. Obserwowane zmiany średniej długowieczności zależą natomiast od prawdopodobieństwa zadziałania czynników ekstremalnych, które wywołują śmierć w wyniku przekroczenia możliwości kompensacyjnych organizmu. Tak więc zasadniczą różnicą między środowiskiem „korzystnym" i „niekorzystnym" jest intensywność oddziaływań czynników środowiskowych, a nie szybkość powstawania uszkodzeń nawet trwałych, lecz nie wywołujących śmierci organizmu.

Powyższe wyniki tłumaczą w pewnym stopniu długowieczność ludzi w niektórych środowiskach, niekorzystnych z punktu widzenia optimum warunków bytowania. Poprzez wieloletni dobór naturalny długowieczność ta zyskała podstawy genetyczne. Słuszność takiej interpretacji potwierdzają statystyki i dane liczbowe nawet z najdawniejszych czasów, a także wyniki doświadczeń przeprowadzonych laboratoryjnie. Na przykład wielokrotne wstrzykiwanie myszom toksyn bakteryjnych lub terpentyny nie miało wpływu na długość ich życia. Podobnie nie miało wpływu działanie krótkotrwałych ekspozycji cieplnych (38,5°C przez 1 h) na poczwarkę muszki owocowej *Drosophila*. Czynniki te wywoływały wprawdzie zaburzenia, ale odwracalne; nie miały więc wpływu na ogólną sprawność funkcjonowania organizmu. Jeżeli jednak działano czynnikiem, który powodował zmiany nieodwracalne i uszkadzające procesy wewnątrzustrojowe, długość życia wyraźnie się skracała. Czynnikami takimi są m.in.: promieniowanie jonizujące, niektóre choroby infekcyjne (choroba reumatyczna, gruźlica, zapalenie ro-

gów przednich rdzenia i inne) oraz niektóre substancje chemiczne, zwłaszcza o działaniu rakotwórczym.

Ważniejszym od długowieczności wydaje się problem starzenia. Na ten temat również jest wiele różnych teorii tłumaczących mechanizmy tego procesu. W ubiegłych latach zjawisko starzenia się tłumaczono zużywaniem się substancji energetycznych, za którą uważano krew (Galen), naruszeniem proporcji między wilgotnością a ciepłem w organizmie (Zerbi), stopniowym zatruwaniem się organizmu (Paracelsus), ustawicznymi emocjami i stresami psychicznymi (Fischer), stopniowym zanikiem „pobudliwości życiowej" (Darwin), a także walką komórek wewnątrz organizmu o przestrzeń dla rozwoju i pożywienia (Spencer). Historyczne znaczenie ma także pogląd rosyjskiego biologa Danilewskiego, że procesy życiowe białek (jako podstawa życia organizmu) mogą odbywać się przy współudziale „aktywatora" i „stymulatora", których ilość nagromadzona w okresie płodowym ma wystarczyć na całe życie. Starość byłaby więc oznaką wyczerpania się tych substancji. Jakby potwierdzeniem tego poglądu były wyniki doświadczeń Charlesa E. Brown-Sequard'a, które przeprowadzał na zwierzętach, a później na sobie samym (w wieku 72 lat!). Wstrzykując wyciągi z gruczołów płciowych stwierdzał „odmładzanie" się organizmu. Metoda ta przez pewien czas była stosowana w formie przeszczepiania małpich gruczołów płciowych ludziom starszym, dając podobno dobre rezultaty. Miecznikow uważał starzenie się za chorobę wywołaną stopniowym zatruwaniem się substancjami, które powstają w jelitach. Pokarm, który się tam znajduje, ulega trawieniu, ale jest także pożywką dla licznych obecnych tam bakterii. W wyniku fermentacji i gnicia powstają w jelitach takie gazy, jak: indol, skatol,

metan, fenol i inne, które częściowo wchłaniają się do krwi. One właśnie miałyby być przyczyną tego zatrucia. Zalecał więc, celem zwalczania tych procesów, spożywanie m.in. zsiadłego mleka i stosowanie specjalnych surowic odtruwających.

Dziś także jest wiele różnych teorii i hipotez tłumaczących proces starzenia się organizmu. Niestety, żadna z nich nie jest powszechnie uznawana i proces ten nadal stanowi przedmiot licznych badań. Wydaje się, że poszczególni autorzy przywiązują nadmierną wagę do jednych objawów starości, pomijając lub umniejszając znaczenie innych. Organizm żywy należy traktować jako całość, analizując nie tylko poszczególne procesy, lecz także łącznie pracę wszystkich narządów wewnętrznych. Ponadto, u człowieka olbrzymią rolę odgrywa psychika, której wpływu na procesy starzenia nie można pomijać. Jak podkreśla wielu gerontologów, w biologicznym starzeniu się można wyróżnić co najmniej cztery grupy zjawisk, które w sumie decydują o wystąpieniu i przebiegu procesów starzenia:

1. Starzenie się fizjologiczne.
2. Wpływ różnych przewlekłych schorzeń.
3. Wpływ długotrwałych, niekorzystnych warunków bytowania i pracy.
4. Nieumiejętne odżywianie się i wpływ używek.

Druga, trzecia i częściowo czwarta grupa zjawisk dotyczą działania czynników szkodliwych, które wywołują trwałe uszkodzenie różnych funkcji organizmu. Fizjologiczne starzenie się związane jest natomiast z genetycznym uwarunkowaniem rozwoju organizmu żywego. Jest to proces wsteczny, który najprawdopodobniej jako główną przyczynę ma u swego podłoża zaburzenia przemiany materii. Zewnętrzne objawy starości są liczne. Skóra przybiera barwę

brunatną, jest pomarszczona, o suchej, łuszczącej się powierzchni, a jej sprężystość znacznie się zmniejsza. Kości stają się porowate, łamliwe, jakby spróchniałe, a kości płaskie — coraz cieńsze. Zanik mózgu, serca, wątroby, nerek, śledziony i innych narządów wewnętrznych objawia się zmniejszeniem ich objętości i wystąpieniem miejsc, w których gromadzi się tłuszcz. Tłuszcz jest tu czymś w rodzaju blizny, zajmując miejsce uszkodzonych komórek.

Powyższy proces występuje zawsze, nawet w najbardziej korzystnych warunkach życia i przy braku wpływu jakichkolwiek chorób i czynników szkodliwych. Najbardziej wrażliwe są tu komórki, które w życiu pozapłodowym tracą zdolność rozmnażania się, a więc — komórki nerwowe i mięśniowe. Przyjmując, że podłożem fizjologicznych procesów starzenia się są zaburzenia przemiany materii, można je nazwać utratą zdolności do odnowy. Odnowa taka mogłaby nastąpić na drodze podziału komórki starej i powstania komórek nowych, nadal prężnych życiowo. W organizmach wielokomórkowych dołączają się do tego następstwa niedoskonałości (o ile w ogóle w tych warunkach można oczekiwać idealnego scalenia czynnościowego) w powiązaniu różnych funkcji wewnątrzustrojowych, jak: odżywianie, transport tlenu i substancji energetycznych, wydalanie pośrednich i końcowych produktów przemiany materii i inne.

Proces starzenia w rozumieniu fizjologicznym jest więc nieuchronnym następstwem każdego życia. Poszukując odpowiedzi na pytanie, dlaczego organizm traci stopniowo możliwość usuwania pośrednich produktów przemian wewnątrzkomórkowych, zwrócono uwagę na te ogniwa procesów, które dla życia są najbardziej kluczowe. W procesie życiowym każdej komórki zarówno DNA, RNA, jak też substancje enzy-

matyczne i struktury białkowe komórki, które stanowią podłoże wszystkich reakcji składających się na życie, po pewnym czasie się zużywają i są odnawiane. Radykalna odnowa występuje w trakcie podziału komórki i powstania z niej dwóch nowych. Wiele jednak komórek organizmów wyższych utraciło zdolność odnawiania się przez podział. W nich proces odnowy odbywa się na drodze wymiany niektórych aminokwasów i większych struktur subkomórkowych.

Każda wymiana może jednak prowadzić do pomyłek lub do wstawienia elementów mniej wartościowych. Przyjmuje się, że w procesie starzenia się długie łańcuchy DNA, RNA, białek wewnątrz- i zewnątrzkomórkowych (np. kolagenu tkanki łącznej), nie mogąc odnowić zużytych części w należyty sposób, tworzą nieprawidłowe połączenia w postaci wewnątrz- i międzyłańcuchowych wiązań i mostków. Jeśli takie deformacje wystąpią w chromosomach, nastąpi zmiana kodu genetycznego, mutacja, która zmienia funkcjonowanie komórki. Nowo powstały kod genetyczny będzie przekazywany przez RNA na białko i enzymy zmieniając ich budowę lub właściwości i wpływając na procesy wewnątrzkomórkowych przemian. Ale także te deformacje, które powstają w białkach, mogą okazać się szkodliwe przez wpływ na funkcję wykonywaną przez to białko, choćby nawet było to uszkodzenie krótkotrwałe, istniejące do chwili zużycia danej cząsteczki. Zmienione i niezdatne do pełnienia swej roli cząsteczki zalegają w komórce, a ponieważ ich usuwanie wymaga czasu, nagromadzają się stopniowo, co z kolei jeszcze bardziej utrudnia proces ich rozkładu i usuwania. W rezultacie powstaje obraz zmian zanikowych, zwyrodnieniowych lub innych zmian wstecznych.

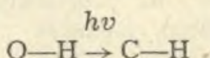
Badania nad procesami powstawania niepra-

widłowości w budowie łańcuchów białkowych i kwasów nukleinowych wykazały, że zasadniczą ich przyczyną są różnego rodzaju produkty przemiany materii. W etapach pośrednich różnych przemian powstaje wiele różnych rodników, wolnych atomów, a nawet substancji o wyraźnie toksycznym działaniu, jak aceton i inne ketony, kwas moczowy, szczawiowy, alkohol etylowy, butylowy i inne. Wszystkie te substancje powstają w czasie zwykłych, nie zaburzonych przemian. Oczywiście w przemianach, które uległy zaburzeniu na skutek wpływu czynników szkodliwych, ilość i rodzaje pośrednich produktów mogą być znacznie większe.

To, że już w zwykłych przemianach, nawet w najbardziej korzystnych warunkach powstają pewne ilości czynnych chemicznie substancji, wskazuje, że wywoływane nimi uszkodzenia i deformacje DNA, RNA, białek i enzymów należą do nieodłącznych objawów procesów fizjologicznych. Są to reakcje, które w fizjologicznych warunkach stopniowo zmniejszają sprawność komórek, narządów i w konsekwencji — całego organizmu, dając obraz fizjologicznego procesu starzenia się. Dodatkowe czynniki, w rodzaju zatruć, chorób lub uszkodzenia wpływami fizycznymi, mogą ten proces przyspieszać i zmieniać.

Wpływami fizycznymi, które mogą przyspieszać starzenie się danego organizmu, są wszystkie postacie energii. Najczęstszym źródłem jest tu energia promienista, występująca w porcjach (kwantach) różnej wielkości. Ilość energii w jednym kwancie zależy od częstotliwości. Do rozerwania wiązania chemicznego potrzeba więc różnej ilości kwantów energii, przy czym im większa jest długość fal, tym więcej kwantów potrzeba do zapoczątkowania tego procesu. Z reguły, częstotliwości wchodzące w zakres fal cieplnych, mikrofal, fal radiowych, a nawet

fal widzialnych mają zbyt mało energii, aby rozerwać wiązanie chemiczne. Wyjątkiem jest tu jedynie proces fotosyntezy odbywający się z wykorzystaniem energii światła widzialnego wynoszącej około 42 kcal/einstein. Ponieważ do rozerwania połączenia międzyatomowego wymaganych jest 80—130 kcal, w przypadku fotosyntezy mamy do czynienia z przekształceniem wiązania mocnego na słabe w postaci, np.:



$$\text{O—H} \xrightarrow{h\nu} \text{C—H}$$

W miarę wzrostu częstotliwości i skracania długości fali energia każdego kwantu wzrasta umożliwiając rozbijanie połączeń międzyatomowych. Dla bardzo dużych częstotliwości, np. promieni $\gamma$ i x, absorbcja energii nie jest nawet potrzebna. Promienie te wywołują jonizację.

Oprócz energii promieniowania uszkodzenie komórek i tkanek może być wywołane energią kinetyczną. Występuje to nie tylko w wyniku uszkodzeń czynnikami mechanicznymi, jak rana zadana twardym przedmiotem lub złamanie spowodowane uderzeniem, lecz także pod wpływem hałasu, wibracji, przyspieszeń i innych czynników fizycznych, w czasie działania których wyzwala się energia kinetyczna.

Trzecim czynnikiem fizycznym mogącym spowodować uszkodzenie komórek są zmiany środowiska wewnątrzustrojowego. Najbardziej jest to widoczne w czasie działania niskiej temperatury, kiedy powstające kryształy lodu uszkadzają mechanicznie komórkę i zmieniają środowisko, w którym odbywa się przemiana materii.

Wszystkie te wpływ fizyczne poprzez oddziaływanie niszczące lub zmieniające warunki funkcjonowania komórek mogą przyspieszać fizjologiczny proces starzenia się organizmu. Na-

leży w tym miejscu jednak zwrócić uwagę na fakt, że zwłaszcza dzisiaj fizjologiczna śmierć, czyli taka, która powstała w wyniku naturalnego starzenia się, właściwie nie występuje. W żadnej większej statystyce przyczyn zgonów w wieku starczym nie ma rubryki „śmierć fizjologiczna". Zawsze jest jakaś chorobowa przyczyna, która spowodowała zgon. Być może, jest to spowodowane nastawieniem medycyny na leczenie, a mniej na profilaktykę, czyli zapobieganie chorobom. Lekarze potrafią dziś na ogół doskonale rozpoznawać choroby, lecz żaden z nich nie umie właściwie określić, co to jest zdrowie. Najczęściej odpowiedź brzmi „zdrowie — to brak choroby". Jest to więc równoznaczne z poszukiwaniem choroby za wszelką cenę, co nie jest trudne, jeśli zważymy, że każdy człowiek ma jakieś odchylenia od przeciętnego stanu budowy ciała i funkcjonowania procesów wewnątrzustrojowych.

Brak niemal absolutny przypadków śmierci fizjologicznej spowodowany jest także tym, że życie dostarcza wielu bodźców przyspieszających proces starzenia się. Dlatego, zamiast ponad sto lat, średnia długość życia wynosi w krajach rozwiniętych Europy około 70 lat. Tylko 9% ludzi starych umiera szybko i bez cierpień, natomiast prawie 80% umiera po przeszło półtorarocznej chorobie. Rozpatrując szybkość postępowania procesu starzenia się można stwierdzić, że dzisiejszy Europejczyk w wieku 55—65 lat ma zmniejszony poziom zdolności do pracy o około 50% w stosunku do tego, jaki miał w wieku 25—30 lat. To szybko postępujące starzenie się spowodowane jest wpływem trybu życia i odżywiania w krajach cywilizowanych. W medycynie jest nawet używany termin „choroby cywilizacyjne", którym określa się miażdżycę, osłabienie mięśnia sercowego i skłonność do zawałów serca, nerwice, zwłaszcza psycho-

nerwice i charakteropatie, anomalie rozwojowe kręgosłupa, próchnice zębów i inne.

Najczęściej ze starzeniem się łączy się miażdżycę. Rzeczywiście, z reguły u osób starszych stwierdza się obecność tego schorzenia. Jednakże nie jest to przejaw procesu starzenia się, lecz pewien rodzaj zaburzeń przemiany materii, który jedynie przyspiesza starzenie się. Miażdżyca jest chorobą tętnic. W błonie wyścielającej ich wnętrze pojawiają się zmiany zwyrodnieniowe: rozrost tkanki łącznej, odkładanie się cholesterolu i ciał tłuszczowych oraz tzw. rozmiękanie, czyli obumieranie komórek błony tętnic. W rezultacie powstają zgrubienia w miejscach rozwoju ognisk miażdżycowych, co utrudnia przepływ krwi. Z kolei zmniejszenie przepływu krwi przez tętnice oznacza ograniczenie dopływu tlenu i substancji odżywczych do tkanek. Następują więc zaburzenia przemian wewnątrzkomórkowych, których efekt końcowy jest niemal identyczny z efektem procesu starzenia się.

Miażdżycę wywołują różne przyczyny. Wśród czynników wewnątrzustrojowych wymieniano dziedziczność, jako że często obserwowano występowanie „rodzinne" tej choroby. Usposabiać ma również do niej budowa ciała; osoby z nadwagą, otyłe, znacznie częściej mają duże zmiany miażdżycowe. Częściej także stwierdza się ją u mężczyzn niż u kobiet. Bardzo duży wpływ na powstawanie miażdżycy ma układ nerwowy, zwłaszcza nadmierne obciążenie regulacji nerwowej w warunkach stresowych oraz nadmierne obciążenie psychiki emocjami. Biorąc pod uwagę fakt, że układ nerwowy i endokrynologiczny są regulatorami przemiany materii, a miażdżyca jest chorobą tej przemiany, również zaburzenia hormonalne mają wpływ na powstanie i przebieg tej choroby. Zaburzenia przemiany materii mogą powstać także pod wpływem bodźców zewnętrznych, gdzie naj-

ważniejszą rolę w przypadku miażdżycy odgrywa dieta. Jednakże, również takie czynniki, jak ograniczenie ruchów (np. siedzący tryb życia), używki (alkohol, nikotyna, kawa, herbata), a także zatrucia niektórymi substancjami chemicznymi mogą spowodować powstanie miażdżycy i przyspieszyć jej rozwój. Wszystkie te czynniki szybciej oczywiście wywołują leżące u podstawy miażdżycy zaburzenia przemiany cholesterolowo-lipidowej w starszym wieku, ponieważ sam proces starzenia fizjologicznego zaburza metabolizm wewnątrzkomórkowy. Mogą one jednak spowodować miażdżycę także u osób młodych. Tym należy tłumaczyć fakt występowania czasem tej choroby u ludzi mających zaledwie kilkanaście—dwadzieścia kilka lat.

Tak więc nie należy utożsamiać istnienia i rozwoju miażdżycy z procesem starzenia się. Współistnienie miażdżycy natomiast z całą pewnością będzie przyspieszało ten proces. Trzeba jednak dodać, że ta postać chorobowa występuje zwykle w wieku starszym. Z badań statystycznych nad miażdżycą wynika, że pojawia się ona najczęściej po 40 roku życia, a po 60 roku jest najczęstszą przyczyną śmierci. Jest to więc wybitnie choroba wieku podeszłego. Ale statystyki także wykazują, że częstość występowania i nasilenie tej choroby osiąga swój szczyt około 60 roku życia, utrzymując się później na stosunkowo niskim poziomie, mimo dalszego rozwoju procesu starzenia się organizmu.

Gerontolodzy wyraźnie podkreślają konieczność utrzymywania młodzieńczej wagi ciała. Stwierdzają, że zwłaszcza niebezpieczny jest szybki przyrost wagi po 25 roku życia. Zwiększa się wówczas ryzyko wystąpienia miażdżycy i nadciśnienia tętniczego, mających wpływ na długość życia. Wszelkie przekarmienie prowadzi więc do przyspieszenia procesów starzenia

się i przyczynia do rozwoju chorób wieku starczego, które pogłębiają objawy fizjologicznego zużycia organizmu.

Jeżeli jednak zapytalibyśmy dietetyków, jakie żywienie jest najlepsze, pozwalające na utrzymanie pełnej sprawności i opóźniające starość, okazałoby się, że odpowiedzi właściwie nie ma. Mimo licznych badań, zorganizowania specjalistycznych instytutów żywności i żywienia, wyasygnowania olbrzymich kwot na doświadczenia, nadal nie wiemy, jak się mamy odżywiać. Przypomina to sytuację krytyka teatralnego, który wie, że jest źle, nawet potrafi powiedzieć dlaczego, ale nie umie wskazać, co należy robić, aby było dobrze. Niewiele zwłaszcza wiadomo na temat, jaka dieta sprzyja długowieczności. Liczne zalecane diety nie są oparte na żadnych doświadczeniach gerontologicznych.

Błędy dietetyczne rozpoczynają się już w wieku niemowlęcym i dziecięcym. Kinga Wiśniewska-Roszkowska stwierdza na przykład, że przyjmowanie przez pediatrów przyrostu ciężaru ciała jako wskaźnika rozwoju dzieci, prowadzi do niebezpieczeństwa wystąpienia zmian przedmiażdżycowych, które wykrywa się w naczyniach serca u 75% dzieci w wieku 5 lat. A więc matka ciesząca się, że dziecko „dobrze wygląda" w rzeczywistości przyczynia się do skrócenia jego życia poprzez zapoczątkowanie zaburzeń przemiany materii, które w przyszłości rozwijają się jako otyłość, zmniejszenie odporności na zakażenia, miażdżyca, cukrzyca i inne tego typu schorzenia.

Analiza dietetyki społeczeństw długowiecznych wykazuje, że podstawą ich pożywienia są głównie rośliny. Ten sam kierunek można stwierdzić w dietach zalecanych przez starożytnych, jak hinduska joga czy japoński zen. Zgodnie z tymi wskazówkami żywienie winno być oparte na potrawach zbożowych, jarzynach

i owocach. Mięso, jaja, tłuszcze zwierzęce i ryby winny być ograniczone do minimum. Nasze pożywienie natomiast hołduje nadal zasadom dziewiętnastowiecznym, w myśl których dieta winna być wysokokaloryczna i białkowa.

Konieczność zwrócenia większej uwagi na sposób odżywiania i konieczność ustalenia zasad racjonalnej dietetyki mogą uzasadnić przykładowo następujące dane. Wyrażanie pożywienia w kaloriach całkowicie traci sens, jeśli brak w nim choćby jednego składnika witaminowego. Taki pokarm, mimo pełnej wartości kalorycznej, jest niepełnowartościowy. Również stosunek poszczególnych składników w pożywieniu ma znaczenie dla jego przyswajalności. Na przykład, jeżeli podamy doświadczalnie preparat żelazowy wraz z dietą węglowodanową, stopień przyswajania żelaza zmniejszy się 3—4-krotnie. Około 40% wszystkich młodych ludzi cierpi na niedobór żelaza.) Duże ilości białka w pożywieniu mogą być także niebezpieczne. Białko wykorzystane jest przez organizm jako materiał budulcowy, a jego nadmiar zostaje spalany. Produkty pośrednie i końcowe spalania białek są natomiast bardzo niekorzystne, jeśli wytwarzają się w większych ilościach. Wiadomo natomiast, że organizm osoby starej mniej sprawnie usuwa te metabolity. Rodzaj spożywanych produktów mięsnych także ma znaczenie. Stwierdzono, że wędzone potrawy, spożywane w dużych ilościach, przyczyniają się do powstawania raka żołądka.

Można stwierdzić, że wyniki badań laboratoryjnych i obserwacji różnych społeczeństw wyraźnie potwierdzają dodatni wpływ żywienia skąpokalorycznego, z niewielką ilością białka zwierzęcego na długowieczność. Ponadto, okresowe głodówki mogą dodatkowo pobudzić organizm do regeneracji i usprawnienia przemiany materii.

Innym czynnikiem, który ma duży wpływ hamujący na występowanie i rozwój procesów starzenia się, jest ruch. Praca mięśni pobudza funkcje wewnątrzustrojowe, które mają zadanie pokrywania zapotrzebowania na substancje energetyczne i tlen. Zmusza to organizm do stałego doskonalenia tych funkcji, a więc, pośrednio, do utrzymywania w stałej sprawności przemian energetycznych.

Na mięśnie przypada u dorosłego człowieka około 45% całej objętości organizmu. Masa ta wzrasta w ciągu rozwoju osobniczego mniej więcej do 30 roku życia. Później utrzymuje się na względnie stałym poziomie albo, zależnie od aktywności ruchowej, może się zmniejszać. Wraz z rozwojem masy mięśniowej zmieniają się też jej właściwości, a zwłaszcza siła, szybkość, wytrzymałość, zwinność i gibkość. Poziom tych cech może być zwiększany tylko do 30 roku życia. Później organizm czerpie już tylko z tego, co wykształcił, a dalsze podnoszenie poziomu cech motorycznych nie jest w zasadzie już możliwe.

Wpływ zwiększonej aktywności ruchowej na ogólny stan zdrowia organizmu i zwiększoną tolerancję czynników środowiskowych był wielokrotnie sprawdzany. Stwierdzono m.in. dodatni jej wpływ na odporność na zakażenia, choroby niezakaźne, na znoszenie zimna, ciepła, niedotlenienia, przyspieszenia, promieniowania rentgenowskiego i wiele innych czynników, które występują w środowisku człowieka. Co prawda, badając wpływ uprawiania sportu na długość życia nie uzyskano pewnych danych, czy rzeczywiście taka współzależność występuje, ale z całą pewnością stwierdza się, że ludzie aktywni ruchowo znacznie dłużej zachowują sprawność fizyczną i umysłową, będąc z reguły zdolnymi do pracy do końca życia.

Znaczenie jakiegoś czynnika można w fizjo-

logii sprawdzać, stosując go w większym nasileniu lub usuwając jego działanie z kompleksu wpływów środowiskowych. Ten drugi sposób, zastosowany w odniesieniu do aktywności ruchowej, szczególnie wyraźnie wskazuje na jej znaczenie dla całości funkcjonowania organizmu. Hipokinezja zwłaszcza ostatnio wzbudziła duże zainteresowanie, kiedy stwierdzono, że obniżenie aktywności ruchowej jest jedną z charakterystycznych cech zachowania się współczesnego człowieka, a równocześnie jedną z przyczyn powstania „chorób cywilizacyjnych".

Analizując wpływ hipokinezji na organizm stwierdza się odwrotność tych przejawów, jakie występują po zwiększonej aktywności ruchowej. Trening fizyczny usprawnia gospodarkę energetyczną, podwyższa odporność na zmęczenie, zwiększa możliwość organizmu do usuwania produktów materii, przez co umożliwia szybszy odpoczynek po pracy. Obniżenie aktywności ruchowej działa w przeciwnym kierunku. Stwierdza się podwyższenie podatności organizmu na zmęczenie, małą sprawność procesów metabolicznych, co szczególnie odbija się na możliwości wykorzystania zapasów energetycznych.

W czasie hipokinezji, którą stosowano doświadczalnie (np. utrzymując badanych we względnym bezruchu w łóżku) lub która powstała w wyniku przewlekłej choroby uniemożliwiającej wykonywanie ruchów, stwierdzono, że powoduje ona obniżenie liczby krwinek czerwonych. Zmniejsza się więc pojemność transportu tlenu z płuc do tkanek. Każda komórka w swej aktywności potrzebuje dla prawidłowego przeprowadzenia przemian energetycznych odpowiednich ilości tlenu. Jego brak wywołuje zatrzymywanie się przemian na ogniwach pośrednich powodując powstanie licznych szkodliwych substancji, które stopniowo zatruwają

wnętrze komórki. Duże niedotlenienie może wywołać nawet jej śmierć w ciągu kilkunastu minut. Zaburzenia przemian, które na skutek braku tlenu powstają wewnątrz komórki, stara się organizm skompensować zwiększeniem ich intensywności. W ten sposób chce uzyskać odpowiednią ilość energii potrzebnej do życia. To oczywiście pogłębia jeszcze i tak już zmienione warunki usuwania produktów przemian wewnątrzkomórkowych.

W doświadczeniach na zwierzętach unieruchomienie wywołuje drastyczne zmniejszenie długości życia. Na przykład przeprowadzone w Instytucie Gerontologii w Sofii badania na szczurach wykazały, że podczas gdy zwierzęta kontrolne żyły 529 dni, unieruchomione żyły przeciętnie tylko około 80 dni. Skrócenie życia było tym większe, w im późniejszym okresie rozwoju zastosowano unieruchomienie. Przenosząc to do obserwacji na ludziach należy oczekiwać, że unieruchomienie osoby starszej szybciej wywoła u niej zmiany zanikowe niż u osoby młodej. Praktyka szpitalna wniosek ten w pełni potwierdza. Potwierdzają to także spostrzeżenia o wpływie zwiększenia aktywności ruchowej na sprawność osób starszych lub starzejących się. Prowadzony pod odpowiednią kontrolą i dostosowany do wieku ćwiczących trening fizyczny dawał poprawę zdrowia w chorobach wieku starczego, zwiększał sprawność umysłową i fizyczną. Badania osób starszych systematycznie uprawiających gimnastykę lub inne sporty wykazały, że sprawność całego organizmu i wszystkich procesów wewnątrzustrojowych jest zbliżona do sprawności organizmu młodego. W stosunku do wieku chronologicznego wiek biologiczny takich osób był o kilka, kilkanaście i więcej lat mniejszy. Na przykład przeprowadzone przez Ernsta Jokla badania gimnastyków w wieku 40—84 lat wykazały, że

w stosunku do nie ćwiczących wiek biologiczny takich osób był w niektórych wypadkach (u tych najstarszych) o 30—40 lat niższy niż ich wiek chronologiczny.

Bezsprzecznie duży i zasadniczy wpływ na szybkość starzenia się organizmu i długość jego życia ma higiena życia psychicznego i odpoczynek. Na ogół nie zwraca się na to uwagi, co potęguje działanie jednego z głównych czynników dzisiejszego życia, który zmniejsza zdolność do pracy i skraca czas aktywności danej jednostki. Takie czynniki, jak konflikty, zdenerwowanie, przykrości, stały pospiech, niepokój, podejrzliwość, nadmierne emocje itp., wywołują przeciążenie psychiki i układu nerwowego. Już badania Iwana P. Pawłowa wykazały, że psy utrzymywane przewlekle w stanie znerwicowania bardzo szybko wykazywały objawy zestarzenia się. Potwierdza to także obserwacja z życia codziennego, kiedy nadmierny bodziec psychiczny może w krótkim czasie, na skutek przeciążenia potencjału sprawności, wywołać objawy starości. Już przeszło tysiąc lat temu założona w Salerno szkoła medyczna nakazywała: „jeśli jesteś chory, a nie masz lekarza, niech ci lekarzem będą 3 rzeczy: odpoczynek, wesoły nastrój i łagodna, umiarkowana dieta".

Zalecenia te znane są od wieków i spotykane w różnych systemach filozoficznych starożytności. Nie straciły one nic na aktualności, a nawet odwrotnie — tym bardziej stały się aktualne wobec olbrzymiego pospiechu, jaki cechuje dzisiejsze życie.

Na ogół nie umiemy odpoczywać. Codzienny odpoczynek często jest zakłócany przez różne hałasy, a jego skuteczność, gdy nie jest rytmiczny, obniża się. Warunki odnowy organizmu są wtedy niepełne, zmęczenie nie jest całkowicie usuwane, wytwarzając, na skutek nawarstwiania się, stan zmęczenia przewlekłego i przemę-

czenia. Nic dziwnego, że w takim trybie życia procesy starzenia się fizjologicznego są przyspieszone i pogłębione niekorzystnymi wpływami dodatkowych zaburzeń. Ma także wpływ na długość życia. U osób, które zawodowo są narażone na różne konflikty i inne stresy psychiczne i które zaniedbują systematyczność odpoczynku, znacznie częściej stwierdza się zaburzenia chorobowe charakterystyczne dla wieku starczego, jak miażdżyca, brak zainteresowania otoczeniem (apatia), nadciśnienie tętnicze, choroba wrzodowa żołądka i inne.

Wiele innych jeszcze czynników oddziaływa ujemnie na organizm człowieka. Niektóre z nich są dopiero poznawane. Na przykład dzięki urzeczywistnieniu lotów kosmicznych uzyskano możliwość badania stanu nieważkości. Początkowo przypuszczano, że będzie można go przyrównać do hipokinezji, ponieważ wiele zmian, zwłaszcza w układzie kostnym i mięśniowym były tu podobne. Dokładniejsze badania nie potwierdziły tych przypuszczeń i dzisiaj mówimy, że w nieważkości występuje hipodynamia, czyli warunki zmniejszonego ciążenia. Aktywność ruchowa w tej sytuacji nie zostaje ograniczona, zmniejszają się natomiast opory, jakie w normalnej grawitacji są przez mięśnie pokonywane. Zmieniają się także warunki pracy narządów wewnętrznych, zwłaszcza serca, które nie musi pokonywać ciśnienia hydrostatycznego krwi, pracując pod mniejszym obciążeniem niż w normalnej grawitacji.

Grawitacja wydaje się mieć bardzo duży, chociaż dotychczas prawie zupełnie nie poznany wpływ na procesy starzenia się organizmu i długości życia. Pierwsze sygnały o tym wpływie nadeszły, m.in., od badaczy rumuńskich. Np. Vrabiescu stwierdził, że zwierzęta utrzymywane przez wiele lat w podwyższonej grawitacji wykazywały znacznie szybciej zmiany starcze

i żyły krócej niż zwierzęta kontrolne. Przeniesione natomiast do warunków normalnej grawitacji, jakby odmładzały się. Siwizna sierści cofała się, skóra stawała się bardziej elastyczna, zwierzęta stawały się bardziej ruchliwe i przejawiały zwiększone zainteresowanie otoczeniem. Wyniki te były wielokrotnie sprawdzane, nawet w locie kosmicznym i wszędzie dawały jednoznaczny wniosek: zmniejszenie grawitacji zwalnia procesy starzenia, a nawet niektóre z nich zatrzymuje. Za wcześnie oczywiście na wnioski na temat praktycznego wykorzystania tych doświadczeń na człowieku. Niemniej, należy stwierdzić, że doświadczenia te ukazały zupełnie nowe, dotychczas nie zauważone możliwości interpretowania procesów starzenia się. Wskazały zwłaszcza, że procesy te, obok wewnętrznych przyczyn (wewnątrzkomórkowych, współzależności komórek w organizmie wielokomórkowym, właściwości regulacji współdziałania narządów itp.), zależą w dużym stopniu od różnych wpływów zewnętrznych, z których pewne mogą mieć zasadnicze znaczenie.

Jakie więc są perspektywy wydłużenia życia człowieka i czy można oczekiwać zwiększenia czasu jego biologicznej aktywności? Wszystkie dane wskazują, że człowiek powinien żyć przeciętnie 120—140 lat, być może jeszcze dłużej, do końca zachowując sprawność fizyczną i umysłową. Fakt, że tylko w nielicznych wypadkach jest to możliwe do stwierdzenia, wynika stąd, że na skutek postępu cywilizacyjnego stworzone zostały warunki życia i pracy, które wyraźnie ujemnie oddziaływają na biologiczną sprawność organizmu. Co więcej, właściwie dotąd nie wiemy, co należałoby zrobić, aby przywrócić człowiekowi możliwość długotrwałego, pełnego życia, jakie ma zakodowane w swych genetycznych dyspozycjach. Nasza wiedza jest w tej dziedzinie wybitnie fragmentaryczna, a to, co

zostało już poznane, nie daje się jeszcze ułożyć w tymczasowy choćby nawet schemat.

Zagadnienie jest jednak frapujące. Nic dziwnego, że prowadzone są ustawiczne poszukiwania środków, które pozwolą zachować przez długi czas sprawność fizyczną i umysłową i które wydłużą czas życia. Próbuje się różnych leków, jak geriokainę prof. Any Aslan z Bukaresztu, albo mleczko pszczele, ale to są wszystko środki, które działają doraźnie, przez stosunkowo krótki czas. Zatrzymajmy się jednak nad niektórymi z nich, zwłaszcza tymi, które w literaturze fantastyczno-naukowej są tak często cytowane i omawiane.

W latach pięćdziesiątych naszego wieku szczególnie duże podniecenie wywołały badania wpływu obniżonej temperatury na przebieg procesów starzenia. Stwierdzono, że utrzymywanie zwierząt zapadających w sen zimowy w pełnej aktywności przez cały czas skracało ich życie o około 1/3. Organizmy nie zimujące w hibernacji, lecz sztucznie w nią wprowadzone lekami, wydłużały odpowiednio czas życia. Oziębienie ciała niską temperaturą miało podobny efekt jak hibernacja. Ten sposób, nazywany hipotermią, obniżał zapotrzebowanie organizmu na energię i wydłużał czas życia. Co więcej — nawet wywoływał częściowe cofanie się objawów procesu starzenia.

Zastosowanie hipotermii jako metody przedłużania życia potwierdziło się w doświadczeniach na jednokomórkowcach i organizmach niższych. A jednak, mimo że w lodówkach niektórych ośrodków w Stanach Zjednoczonych znajdują się już zamrożeni ludzie czekający na „lepsze czasy”, nie ma, jak dotąd, bezpiecznej metody oziębienia ciała zwierząt wyższych i człowieka. Trudność polega na tym, że organizmy, jeśli mają pozostać nie uszkodzone, winny być oziębiane równomiernie. Jeżeli w jakim-

kolwiek miejscu powstanie choćby niewielka różnica temperatur, to z chwilą osiągnięcia temperatury zamarzania powstaną igiełki lodu, które uszkodzą wnętrze komórki. Nie wynaleziono dotąd sposobu, aby hipotermia występowała równocześnie we wszystkich najdalszych zakątkach organizmu wielokomórkowego.

Niska temperatura działa na organizm żywy w ten sposób, że zwalnia proces przemiany materii proporcjonalnie do obniżenia temperatury. W razie zbliżenia się do temperatury zerowej lub jeszcze niższej minusowej aktywność enzymów zanika, przemiany materii ustają i organizm jakby „zatrzymuje" swoje życie. Nie wiemy, jak długo żywy organizm może trwać w tym stanie, ale znane są bakterie, które zamrożone przetrwały dziesiątki i więcej lat w stanie utajenia. Krętek gorączki nawrotowej żyje dłużej w temperaturze −196°C niż w temperaturze +5°C. W odniesieniu do organizmów wielokomórkowych dotychczas uzyskiwane czasy trwania wynosiły kilka — kilkanaście dni przy dużej śmiertelności. Jednakże niektóre możliwości, jakie ta nowa technika stworzyła, zostały wykorzystane w praktyce do zachowania świeżości tkanek przechowywanych jako przeszczepy.

W śnie zimowym zwierząt, czyli hibernacji, procesy przemiany zwalniają się także. Jednakże, nawet wówczas, gdy ciało tych zwierząt osiągnie temperaturę ujemną (np. u nietoperzy może dojść do −2°C, a doświadczalnie można ją pogłębić do −7°C), przemiana materii nie ustaje, lecz utrzymuje się na poziomie około 30% tego, co stwierdzono w warunkach pełnej aktywności. Stąd też organizm hibernizujący stale zużywa substancje energetyczne, które przed snem zimowym nagromadziły wewnątrz swego ciała. W hipotermii natomiast nie odbywa się przemiana materii albo jej poziom jest zupełnie minimalny.

Z niską temperaturą łączy się jeszcze jeden, dotąd niezrozumiały problem. Wiadomo, na przykład, że do rozwoju niektórych owadów potrzebne jest silne ich przechłodzenie w stadium jaj i poczwarek. W strefach topnienia lodu stwierdza się bujny rozrost bakterii, pierwotniaków, glonów i innych jednokomórkowców. Jeżeli doświadczalnie podaje się młodym zwierzętom chłodną wodę, np. z topniejącego lodu, rozwijają się szybciej. Co więcej — obserwacje ludzi żyjących w warunkach górskich wydają się potwierdzać przypuszczenie, że te osoby, które regularnie rano piją szklankę zimnej, źródlanej wody, znacznie wolniej się starzeją i żyją dłużej. Próbowano to zjawisko wytłumaczyć strukturą cząstek wody zimnej. Przypomina ona strukturę kryształków lodu, przez co może działać na utwory wewnątrzkomórkowe, błonę komórki lub substancje znajdujące się na zewnątrz komórki podobnie jak lód, lecz bez działania uszkadzającego. Wiele z tych substancji wychwytuje na swej powierzchni cząsteczki wody. Jeżeli te cząsteczki są ze sobą powiązane, jak w krysztale lodu, wychwytywane są łącznie. Mogą więc tworzyć przedłużenia, wypustki i mostki substancji, które je wychwyciły, biorąc pośredni udział w zmianie właściwości całego zespołu. Przypuszcza się, że zmiana taka może właśnie działać korzystnie, uaktywniając funkcję danej substancji.

W dobie lotów kosmicznych wiele miejsca poświęcono możliwości wydłużenia życia tzw. efektem relatywistycznym dużych prędkości. Znany on jest jako paradoks czasu lub paradoks bliźniąt i wykazuje, że czas w dwóch układach poruszających się względem siebie ze stałą prędkością będzie tym bardziej się różnił, im bardziej prędkość ta zbliży się do prędkości światła. Czas przelotu statku kosmicznego z Ziemi do dalekich gwiazd, mierzony ziemskim ze-

garem, może trwać tysiące i więcej lat. A na zegarze statku kosmicznego upłynie zaledwie kilka miesięcy lub kilka lat.

Frapująca perspektywa! Wyobraźmy sobie, że wsiadamy do rakiety kosmicznej i odbywamy nią wycieczkowy przelot, który w sumie, według czasu pokładowego, trwał 2 dni. Po wylądowaniu witają nas wnuki i prawnuki, z których najstarsze będą miały więcej lat od nas. Na Ziemi bowiem w ciągu tych naszych dwóch dni minęło 66 lat!

Nie ma jednak doświadczalnego potwierdzenia teorii względności w odniesieniu do organizmów żywych. Dotychczas statki kosmiczne osiągają maksymalnie około 11 kilometrów na sekundę. A nam potrzeba około 300 000 kilometrów na sekundę. Nie można więc, jak dotąd, stwierdzić, czy założenia wynikające z efektu relatywistycznego dużych prędkości są słuszne w odniesieniu do organizmów żywych. To znaczy, czy zwolnienie czasu na pokładzie statku będzie także oznaczać zwolnienie procesów fizjologicznych. Biologia ma w tym względzie zastrzeżenia. Funkcje życiowe nie są tylko sumą właściwości fizykochemicznych. Są ich integracją, która wytworzyła nową jakość — życie. Mimo więc, że cząstki fizyczne rzeczywiście wydłużają swój czas trwania (na tej drodze udało się np. stwierdzić istnienie niektórych cząstek jądra atomowego, niewykrywalnych w innych warunkach) w przypadku działania dużych prędkości, nie oznacza to, że tak samo będą zachowywały się całe łańcuchy białek i kwasów nukleinowych, z których zbudowane jest podłoże funkcji życiowych. Należy więc jeszcze zaczekać na wyjaśnienie, czy tą drogą można będzie rzeczywiście zrealizować sny ludzkości i spowodować, że człowiek w ziemskim wymiarze czasu będzie mógł żyć 100 000—200 000 lat (tab. 11).

Tab. 11

**Przykładowe procesy wewnątrzustrojowe, które mogą warunkować rozwój i przebieg procesu starzenia się** (wg B. L. Strehlera, zmodyfikowane)

| Proces | Główne pytanie | Wyniki badań | Wnioski gerontologiczne |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| I. Stopniowe hamowanie syntezy wewnątrzkomórkowej | | | |
| A. Uszkodzenie genetyczne<br>1. mutacja DNA (lub przełamanie) | Czy w miarę nagromadzania się mutacji zmniejsza się proporcjonalnie długość życia? | Nie | Mniej niż 10% procesów starzenia się jest tym uwarunkowane |
| 2. zespolenie krzyżowe chromosomów | Czy występuje to zjawisko jako wynik starzenia się? | W małym stopniu | Wymaga dalszych badań |
| | Czy czynniki wywołujące to zespolenie przyspieszają proces starzenia? | Brak potwierdzenia | Wymaga dalszych badań |
| B. Hamowanie syntezy substancji informacyjnych (transkrypcji) | | | |
| 1. nagromadzenie się inhibitorów represji (np. histonów) | Czy w starych komórkach występują substancje, które oddziaływają na syntezę cząstek informacyjnych przez młody DNA (+ enzymy)? | Histony łączą się z DNA; jony metali łączą się z DNA | Zakres różnic w zdolności łączenia się histonów młodych i starych czyni ten mechanizm mało prawdopodobnym |

c.d. tab. 11

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| 2. brak czynników wspomagających (np. sRNA, polimeraza sRNA) | Czy rybozomy, enzymy aktywujące sRNA starych tkanek są zdolne podtrzymywać syntezę z udziałem młodego DNA? | Brak danych | Wymaga dalszych badań |
| C. Utrata zdolności translacji<br>1. niespecyficzna utrata zdolności syntezy białek | To samo, jak w punkcie B. 2 | Brak danych | Wymaga dalszych badań |
| 2. utrata zdolności translacji niektórych informacji | Czy są różnice tkankowe specyficznej acylazy sRNA?<br>Czy różnice te powodują utratę zdolności specyficznej syntezy? | Tak | Może być szczególnie istotnym czynnikiem |
| a) substancje specyficzne | Czy komórki różnych typów różnią się między sobą w procesach translacji? | Z całą pewnością | Czynnik ten może powodować dużą utratę wydolności (do 60—95%) |
| b) niespecyficzne składniki komórkowe (np. błony) | | | |
| c) składniki mitozy | Czy specyficzne syntezy hamują procesy syntezy typu a i b? | Zazwyczaj | Wymaga usilnych badań |

c.d. tab. 11

| 1 | 2 | 3 | 4 |
| --- | --- | --- | --- |
| II. Utrata możliwości działania komórki | | | |
| A. Uszkodzenie półautomatycznych lub symbiotycznych organelli. | | | |
| 1. Mitochondria | Czy mitochondria starych tkanek są identyczne z pochodzącymi z tkanek młodych? | Nie, łatwiej się oddzielają. Jednakże stosunek procesów fosforylacji do oksydacji nie zmieniony w czasie starzenia (szczur) | Mało prawdopodobna przyczyna starzenia |
| 2. Plastydy | Czy plastydy starych tkanek są identyczne z pochodzącymi z tkanek młodych? | | Brak danych doświadczalnych |
| B. Niewydolność substancji sterujących, np. hormonów, czynników wzrostowych itp. | Czy sterowanie układowe jest ograniczone w organizmach starych? Czy parabioza, transplantacja lub transfuzja zmieniają efekty komórkowe? | Tak, w niektórych przypadkach, np. w odniesieniu do hormonu wzrostowego, składników krwi, 17-KS i 17-OHCS, hormonów przysadki. Prawdopodobieństwo powstania cukrzycy zwiększa się z wiekiem | Przypuszczalnie jest to istotny czynnik. Może być przyczyną zmniejszenia u ssaków wydolności o 20—80% |
| C. Nagromadzanie się inhibitorów | | | |
| 1. W całym organizmie (składniki rozpuszczalne) | | | |

c.d. tab. 11

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| a) składniki osocza | Czy nagromadzają się substancje hamujące? | Przypuszczalnie tak | Mogą uczestniczyć bezpośrednio w procesie starzenia |
| | Czy transfuzja osocza organizmów starych skraca życie organizmów młodych? | Jest to prawdopodobne (plazmoforeza) | |
| b) Przeciwciała | Czy w organizmach starych poziom autoprzeciwciał jest zwiększony? | Tak | Uszkodzenie specyficzne |
| | Jest to odwracalne? | Nie | Wymaga dalszych doświadczeń |
| 2. Substancje zewnątrz- lub wewnątrzkomórkowe | | | |
| a) Wirusy symbiotyczne | Czy wirusy żyjące w symbiozie z ssakami obniżają ich wydolność? | Nie wiemy. Wiele jednak tkanek w wieku starszym jest przeładowanych wirusami. | Wymaga dalszych doświadczeń |
| b) Straty egzogenne | Czy tego rodzaju straty występują? | Tak, w niektórych tkankach, lecz przypuszczalnie — nie — w fizjologicznym starzeniu | Jest nieprawdopodobne, aby to była ważna podstawowa przyczyna |
| c) Pochodne nieprawidłowych przemian | Czy występują substancje pochodzące z nieprawidłowych przemian? | Tak, np. w przebarwieniu starczym skóry. Nieprawidłowym przemianom ulega kolagen; stary kolagen nie jest dostatecznie szybko mobilizowany w tkankach | Może być ważnym czynnikiem uszkadzającym. Zmniejsza możliwe do wykorzystania rezerwy energetyczne |

c. d. tab. 11

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| d) Denaturacja termiczna (katalizowana) | Czy występuje nagromadzanie się denaturowanych substancji? | Brak potwierdzenia | Wymaga dalszych doświadczeń |
| | Czy udar cieplny zmniejsza długość życia? | Nie, u *Drosophila* | Przypuszczalnie czynnik ten nie jest istotny |
| | Czy enzymy są *in vivo* uszkadzane w wyniku reakcji, którą katalizują? | Przypuszczalnie w niektórych wypadkach, lecz zakres tego zjawiska *in vivo* jest nieznany | Wymaga dalszych doświadczeń |
| e) Hydroliza | Czy występują w tkankach długo utrzymujące się, częściowo zhydrolizowane substancje? | Brak potwierdzenia | Wymaga dalszych doświadczeń |
| f) Izomeryzacja | Czy stare białka zawierają w nadmiarze d-aminokwasy? | Przypuszczalnie nie | Jako przyczyna starzenia nieprawdopodobna; wymaga dalszego przebadania |
| III. Utrata koordynacji funkcji komórek<br>A. Zmiany fizyczne<br>1. Przepuszczalność błon | Czy z wiekiem zmienia się przepuszczalność błon biologicznych? | W niektórych przypadkach się zwiększa | Małe znaczenie w procesie starzenia |
| | Czy czynniki, które obniżają przepuszczalność błon, skracają długość życia? | Promieniowanie wywołuje zmiany włókniste tętnic i kapilar, a także skraca życie | Może mieć duże znaczenie, jednak wymaga dalszych doświadczeń |

c. d. tab. 11

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| 2. Stosunki przestrzenne między komórkami | Czy występuje zjawisko rozsuwania się komórek? Czy zwiększone przesuwanie się komórek i zmiana ich położenia skraca życie? | Wysoce prawdopodobne. Stare tkanki często charakteryzują się nieregularnością przestrzeni międzykomórkowych | Przypuszczalnie ma pewne znaczenie |
| 3. Lepkość środowiska dyfuzji lub dróg dyfuzji | Czy szybkość dyfuzji jest zmienna? | Nie ma wyraźnych potwierdzeń | Wymaga dalszych badań szybkości dyfuzji w tkankach w odniesieniu do wieku i lepkości |
| B. Obniżona reaktywność komórek | | | |
| 1. Zmniejszenie liczby receptorów komórkowych | Czy stare komórki obniżają swoją reaktywność? | Tak | Przypuszczalnie istotny czynnik |
| 2. Obniżenie sprawności układów indukujących przemiany (np. cAMP, cGMP itp.) | Czy układ specyficznych enzymów jest zmieniony? | Nie ma danych | Wymaga dalszych doświadczeń |

c. d. tab. 11

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| 3. Zmniejszenie rezerw energetycznych | Czy ilość rezerw energetycznych jest zmniejszona? | Obniżone uwalnianie wolnych kwasów tłuszczowych za pośrednictwem adrenaliny. Mobilizacja kolagenu za pośrednictwem kortyzolu zmniejszona w starszym wieku. | Ważne źródło obniżenia intensywności w stałych reakcjach. Wymaga dalszych badań w aspekcie mobilizacji i resyntezy glikogenu |
| C. Zmniejszenie liczby komórek | Czy występuje zmniejszenie liczby komórek? | Tak, w niektórych tkankach 10—40%. | |
| 1. Z przyczyn przypadkowych | Czy zmniejszenie liczby komórek zwiększa śmiertelność organizmu? | Nie jest znane bez równoczesnego wystąpienia czynników komplikujących | Przypuszczalnie nie jest głównym źródłem zaburzeń czynności mięśni, serca, skóry, wątroby, nerek. Może być istotnym czynnikiem dla tkanki nerwowej i gruczołowej. Wymaga dalszych badań nad mechanizmami śmierci komórkowej. |

# 7 DOKĄD ZDĄŻAMY?

Od chwili opublikowania raportu Sekretarza Generalnego Organizacji Narodów Zjednoczonych, U Thanta, upłynęło zaledwie kilka lat. Nie sposób więc ocenić skutków tych wszystkich poczynań w dziedzinie ochrony środowiska, które ten raport spowodował. Chociaż poczynania zmierzające do przywrócenia równowagi ekologicznej są coraz bardziej kompleksowe, obejmują coraz szerszy wachlarz zagadnień, nadal pozostaje i stale będzie pozostawać na pierwszym miejscu dążenie człowieka do stworzenia sobie możliwie „najwygodniejszych" warunków życia i pracy. A to oznacza dalszą przyspieszoną eksploatację zasobów organicznych i nieorganicznych Ziemi. Chociaż obecne tendencje, jeżeli chodzi o tempo i sposoby przekształcania środowiska dla potrzeb rozwoju człowieka, są bardziej racjonalne, nie oznacza to, że jego działalność w przyszłości nie będzie niszczyła naturalnego podłoża egzystencji naszego gatunku. W tej dziedzinie, jak dotąd, brak jest optymistycznych perspektyw, które nadal czekają na realizację.

Jakie są więc najpilniejsze zadania? Wśród długiej ich listy na naczelnym miejscu należy wymienić:

— zrównoważenie rozwoju cywi
nicznej na całej kuli ziemskiej,

— zrównoważenie przyrostu licz
w stosunku do możliwości zapewni
powiednich warunków bytowania,

— utrzymanie, ewentualnie przw
powiedniej pod względem ekologicz
środowiska naturalnego.

Kierunki współczesnej działalnośc
które nie są zgodne z tymi zadaniam
w dziedzinie poprawienia lub choćb
nia równowagi ekologicznej, ilustru
działalności. Na przykład, stężenie
węgla w powietrzu wzrosło w la
—1960 o około 14%, co równa się o
milionom ton tego gazu wprowadzon
do atmosfery. Około 95% zasobów w
wykorzystuje się obecnie w tempi
niż następuje ich naturalne odnowie
kopalnych surowców energetyczny
szają się w postępie logarytmiczny
doprowadzić do wystąpienia ich nie
w połowie XXI wieku. Ludność c
ność co prawda tylko z około 3%
lądów nadających się pod uprawę
niszczy przy tym rokrocznie oko
gruntów.

Nie bez znaczenia są także takie z
stały pośpiech, obciążenie nadmiare
cji, zwiększenie odpowiedzialności z
wanie decyzji, związane z charakter
działalności człowieka. Powoduje
się schorzeń układu nerwowego. Zgo
tystykami komisji lekarskich, badaj
czyzn w wieku poborowym, w cią
go 20-lecia liczba odchyleń chara
nych i psychonerwic zwiększyła się
tnie. Zwiększa się liczba schorzeń
żenia, których prawdopodobieństwo
nia wynosi obecnie około 1,5 do 2 ra

tości, jaka była ustalona dla początku XX wieku. Zdolność do pracy fizycznej na skutek zmniejszenia obciążenia tą pracą i postępu automatyzacji jest obecnie w krajach wysoko rozwiniętych około 15 do 20% niższa, niż była jeszcze w latach 1920—1930.

Nasuwa się więc uzasadnione pytanie, czy obecna działalność człowieka nie zmienia kierunku jego ewolucji? A jeśli tak, to w jakim stopniu i jakie są następstwa tej zmiany, jeżeli chodzi o tolerancję przez człowieka czynników środowiskowych? Czego możemy oczekiwać w dziedzinie zdrowotności, długości życia i potencjału adaptacyjnego od człowieka XXI wieku, zakładając obecny kierunek i tempo rozwoju człowieka cywilizacji?

Rozważmy, na podstawie jakich danych można by dać odpowiedź na powyższe i liczne inne pytania z tej dziedziny. Zrozumiałe jest, że przede wszystkim należy jej szukać w historii ewolucji gatunku *Homo*. Już na wstępie, omawiając środowisko bytowania, przedstawiłem przykłady wpływu czynników klimatycznych na fizyczny rozwój człowieka i jego zdolność adaptacji. Rozpatrując ewolucyjną drogę naszego gatunku można stwierdzić, że nie tylko klimat, lecz wszystkie warunki bytowania wpływały na zmianę budowy ludzkiego ciała, funkcji poszczególnych narządów i tolerancji przez organizm wpływów środowiska. Już w początkach swego istnienia człowiek musiał wykształcić i doskonalić pewne cechy, które umożliwiły mu zachowanie gatunku. Bez wątpienia, dla całego ciągu procesów ewolucyjnych, w których wyniku powstał gatunek *Homo*, najważniejszą właściwością modelującą rozwój i kształt organizmu był ruch.

Posiadanie zdolności ruchu przez zwierzęta spowodowało konieczność wykształcenia narządów, które ułatwiłyby rozpoznawanie otoczenia.

Musiały się wykształcić receptory, które rejestrowały bodźce pojawiające się w środowisku. Informacje z receptorów były przesyłane do narządów — z czasem scalonych w jeden narząd, ośrodkowy układ nerwowy — gdzie były analizowane i segregowane pod kątem ważności. Budowa mózgowia stawała się coraz bardziej skomplikowana w miarę przechodzenia na wyższy poziom organizacji wewnątrzustrojowej. Ten ewolucyjny rozwój i komplikowanie struktury ośrodkowego układu nerwowego, czyli cefalizacja, jest jednym z najbardziej wyraźnych przejawów ewolucji zwierząt. Dzięki cefalizacji pojawił się najbardziej skomplikowany i ewolucyjnie oraz przystosowawczo nieprawdopodobny gatunek *Homo*. Nieprawdopodobny dlatego, że góruje nad innymi zwierzętami nie siłą fizyczną, lecz umiejętnością świadomego planowania czynności i ich wykorzystywania w walce o byt.

U wszystkich niemal ssaków, niezależnie od poziomu rozwoju, widoczny jest wzrost objętości mózgu, ilości w nim neuronów i objętości płatów mózgowych. Szczególnie szybko zwiększała się powierzchnia kory mózgowej oraz tych struktur, które według dzisiejszych poglądów mają związek z procesami psychicznymi. Świat nauki od dawna intrygowała sprawa, czym różni się mózg człowieka od mózgu zwierząt, dając mu przewagę w zakresie sprawności i skuteczności działania. Przede wszystkim zwrócono uwagę na ciężar mózgu. U człowieka wynosi on średnio około 1500 gramów, co stawia go w rzędzie zwierząt o najbardziej rozwiniętym mózgu. Tylko u bardzo dużych zwierząt, jak słoń lub wieloryb, mózg ma większy ciężar, wynosząc odpowiednio 5 kg i 2 kg. Jednakże już koń ma średni ciężar mózgu tylko około 600 g, a pies 100 g. Wśród małp człekokształtnych natomiast średni ciężar mózgu wynosi: u gibbona 120 g,

orangutana 350 g, szympansa 370 g, a u goryla 450 g.

Jeszcze wyraźniej różnice te uwidaczniają się, jeśli przeliczy się ciężar mózgu na proporcje względne, w stosunku do całego ciężaru ciała. U wieloryba stosunek ciężaru ciała do ciężaru mózgu ma się jak 15 000 : 1, u słonia jak 500 : 1, u konia jak 400 : 1, u psa jak 250 : 1, a u goryla jak 100 : 1. U człowieka ten stosunek jest największy, wynosząc 40 : 1, a u noworodka nawet 10 : 1.

Powyższe liczby wskazują, że objętościowy rozwój mózgu jest charakterystyczny dla gatunku *Homo*. Jednakże, jeśli przyjmiemy ciężar mózgu za wskaźnik poziomu inteligencji lub ogólnych możliwości psychicznych człowieka, stanowisko takie będzie mocno zachwiane wynikami badań mózgów ludzi o różnym poziomie wiedzy i umiejętności. Mierząc pojemność czaszki można z niej obliczyć objętość mózgu, a znając gęstość tego ostatniego otrzymuje się ciężar mózgu mnożąc pojemność przez gęstość. W ten sposób stwierdzono na przykład, że filozof niemiecki Immanuel Kant miał mózg ważący 1650 g, a ciężar mózgu Carla F. Gaussa, jednego z największych matematyków wszystkich czasów, wynosił 1492 g. Ciężary te mieszczą się w granicach przeciętnych. Ponad przeciętny ciężar mózgu (1820 g) miał m. in. Georges Cuvier, twórca anatomii porównawczej i paleontologii, a rosyjski pisarz Iwan S. Turgieniew miał mózg ważący aż 2012 g. Na drugim biegunie rozkładu ciężaru mózgu znajdują się jeden z największych poetów amerykańskich Walt Whitman — 1262 g oraz słynny pisarz francuski Anatol France — 1017 g. Jeżeli porównamy z tym ciężary mózgu osób niedorozwiniętych na poziomie idioctwa, okaże się, że nie ma w tym względzie żadnych różnic. U osób tych stwierdza się zwykle mózgi bardzo małe, czasem po-

niżej 1000 g, chociaż można spotkać w tej grupie osoby z ciężarem mózgu dochodzącym do 2800 g.

Niemniej, śledząc drogę ewolucji człowieka, można stwierdzić stopniowy wzrost ciężaru mózgu przedstawicieli tego gatunku na poszczególnych etapach rozwoju. Z danych archeologicznych wynika, że u małpoluda Pitekantropa objętość mózgu wynosiła około 900 $cm^3$. Znaleziony w Chinach Sinantrop miał już objętość mózgu w granicach 918—1150 $cm^3$. Rozpiętość objętości mózgu u człowieka neandertalskiego była jeszcze większa. Czaszka znaleziona na Gibraltarze ma pojemność 1260 $cm^3$, w Neandertalu 1408 $cm^3$, a w Chapelle aux Saints aż 1626 $cm^3$. Oblicza się, że średnia dla tego szczebla rozwoju człowieka wynosi około 1370 $cm^3$. Bezpośredni przodek człowieka współczesnego, człowiek z Cro-Magnon (kromaniończyk), miał pojemność średnią czaszki 1430 $cm^3$, czyli bardzo bliską średniej współczesnej (1500 $cm^3$). Biorąc pod uwagę okres, jaki upłynął od czasu istnienia ludzi z Cro-Magnon, rozwój pojemności czaszki jest minimalny i nic nie wskazuje na to, że ten trend się zmieni.

Znacznie większe różnice rozwojowe stwierdza się w tych częściach mózgu, które są związane ze specyficznymi funkcjami. U zwierząt zmysł równowagi odgrywa dużą rolę. Wykonując różne ruchy, skoki, zwierzę za jego pośrednictwem kontroluje precyzję skurczu mięśni. U człowieka, na skutek coraz większego ograniczenia ruchów obronnych, takich, które są niezbędne w życiu zwierząt, zmysł równowagi przestał być tak bardzo potrzebny. W wielu wypadkach funkcję jego przejął narząd wzroku, w związku z czym w odniesieniu do człowieka zazwyczaj mówi się o koordynacji wzrokowo-ruchowej. W konsekwencji tego masa komórek nerwowych przypadająca na móżdżek zmniejsza się u człowieka w przebiegu ewolucji.

Móżdżek, jak wynika z badań antropologicznych, był bardziej wykształcony u Pitekantropa, a nawet u Neandertalczyka, wskazując na lepsze przystosowanie tych form do wykonywania ruchów w różnej pozycji ciała i o lepszej orientacji przestrzennej położenia ciała, niż to występuje u człowieka współczesnego.

Dla funkcji psychicznych szczególnie ważne są te okolice mózgowia, w których znajdują się ośrodki kojarzeniowe. Jedną z nich są płaty czołowe. W miarę przechodzenia do wyższych zwierząt płaty te są większe, zajmując coraz większą część półkul mózgowych. U ludzi współczesnych stanowią one 43% całości mózgowia, podczas gdy u Neandertalczyka wynosiły tylko 35—36% całości, a u Sinantropa około 33% całości mózgowia.

Podobne tendencje rozwojowe można opisać dla każdej części ciała. Jednakże należy podkreślić, że zmiany budowy ciała, uwarunkowane procesem ewolucyjnym gatunku *Homo*, są bardzo powolne. Szybkość zmian budowy ciała człowieka w przedziale czasu istnienia gatunku nie wskazuje na to, by jakieś większe zmiany wystąpiły w najbliższych dziesięcio-, a nawet stuleciach. Nieuzasadnione wydają się obawy o „zanik kończyn dolnych" w związku z rozwojem motoryzacji lub o nadmierny rozwój czaszki. Kierunek ewolucyjny człowieka wskazuje na to, że coraz bardziej będą doskonalić się jego funkcje psychiczne oraz umiejętność wykonywania ruchów precyzyjnych, jednak bez większych konsekwencji w budowie ciała, związanych z tymi funkcjami.

Istnieje jednak inne niebezpieczeństwo, mogące zaważyć na naszych losach. Jest ono związane z wpływem „doskonalenia" warunków życia człowieka i oddziaływaniem tych warunków na jego wartość biologiczną. Jest to niebezpieczeństwo, które związane jest z tworzeniem

sytuacji zmniejszających obciążenie procesów przystosowawczych człowieka, prowadząc tym samym do ich demobilizacji. Dzięki postępowi higieny i medycyny widoczne jest hamowanie procesów odpornościowych. Rozwój techniki natomiast stwarza warunki, które w pewnych dziedzinach wymagają od człowieka zwiększenia tolerancji tych warunków. Niektóre z tych niebezpieczeństw były już częściowo omówione w innych rozdziałach, postarajmy się jednak je jeszcze raz scharakteryzować.

Wśród czynników, które mają przyszłościowe skutki dla gatunku *Homo* lub mogą takie skutki wywołać, należy wymienić następujące:

— skażenia środowiska substancjami chemicznymi, zwiększenie intensywności oddziaływania fizycznych czynników środowiskowych,

— stosowanie środków zwalczających drobnoustroje chorobotwórcze,

— zmiany w psycho-socjalnych warunkach bytowania i związane z tym nadużywanie środków psychotropowych.

W grupie pierwszej najważniejsze znaczenie ma zmiana składu chemicznego atmosfery, wód i gleby w kierunku niepożądanym dla człowieka. Zazwyczaj przypuszcza się, że najgroźniejszym trucicielem jest tu przemysł. Dokładna analiza wykazuje jednak, że najdotkliwsze skutki dla biosfery ma stosowanie chemicznych środków w rolnictwie. Dotyczy to nie tylko środków owado- i chwastobójczych, lecz także sztucznego nawożenia w celu podniesienia plonów uprawianych roślin. Jak wynika z danych Organizacji do Spraw Żywności i Rolnictwa (FAO), w 1975 roku zużyto w rolnictwie 85 milionów ton nawozów sztucznych w przeliczeniu na tzw. czysty składnik, czyli 58 kilogramów na jeden hektar ziemi uprawnej! Są to dane średnie, nie uwzględniające stopnia intensyfikacji nawożenia w poszczególnych krajach.

Nie potrafimy jeszcze przewidzieć skutków drastycznych redukcji gatunków roślinnych jako efektu stosowania chemizacji w rolnictwie. W miarę postępu nauki wiele gatunków roślin, dawniej uznawanych za szkodliwe lub bezużyteczne, okazały się niezbędne dla środowiska ekologicznego. Przekonano się, że nie można bezkarnie zubożać środowiska — jeżeli chodzi o zasoby genowe — z uwagi na obniżenie wartości biologicznej i zawężenie możliwości rozwoju środowiska.

Człowiek styka się ze skutkami chemicznego zanieczyszczenia gleby spożywając skażone produkty rolne i wodę. Skutki te w odniesieniu do populacji ludzkiej nie są jeszcze dokładnie określone. Jednakże, widoczne one są aż nadto wśród populacji różnych gatunków owadów, ptaków, zwierząt domowych i organizmów wodnych.

Podobne efekty powodują zanieczyszczenia atmosfery. Stężenie dwutlenku węgla w powietrzu zwiększa się obecnie przeciętnie o 5% wartości wyjściowej. W roku 1980 stężenie tlenków siarki wzrośnie w stosunku do obecnego o około 75%. Motoryzacja jest głównym dostawcą do atmosfery tlenku węgla, tlenków azotu i czteroetylku ołowiu, a wobec jej powszechności niebezpieczeństwo to ulega stałemu zwiększeniu.

Stosowanie środków zwalczających drobnoustroje chorobotwórcze powoduje podważenie odporności immunologicznej populacji ludzkiej. Szerokie stosowanie szczepień ochronnych i antybiotyków osłabia procesy odpornościowe nie tylko danego gatunku drobnoustrojów. Może ono zmienić gotowość całego systemu odporności naturalnej, zwiększając podatność na zakażenia. Zagadnienia te nie są dotąd dokładnie opracowane. Jednakże praktyka kliniczna wskazuje na wzrost nietypowych przebiegów

niektórych schorzeń i trudności w ich opanowaniu.

Jeszcze mniej są poznawane skutki biologiczne zmian w psychosocjalnych warunkach bytowania. Nie ulega wątpliwości, że ewolucyjny rozwój gatunku *Homo* związany jest z cefalizacją, a tym samym z doskonaleniem jego psychicznych właściwości. Jednakże, jak w żadnej innej dziedzinie, w żadnym innym procesie wewnątrzustrojowym, w zakresie psychiki stwierdza się wyjątkową podatność ludzi na działanie czynników środowiskowych. Nie są właściwie znane w pełni skutki genetyczne tych oddziaływań. Jeżeli jednak przyjmiemy, że skutki osobnicze mogą być duże, jest to wystarczający powód do zwrócenia uwagi na ich znaczenie dla wartości biologicznej jednostki i społeczeństwa, w którym ta jednostka przebywa.

Jednym z podstawowych przejawów naszego życia jest współżycie człowieka z innymi ludźmi. Życie samotne, w izolacji, jest źródłem poważnych zagrożeń dla zdrowia i rozwoju. Psychologia penitencjarna nie pozostawia w tym względzie żadnych wątpliwości, ukazując ujemne skutki odosobnienia więźniów. Wpływ izolacji widoczny jest także w czasie wykonywania prac związanych z określonymi zawodami. W psychologii klinicznej znany jest nawet zespół zaburzeń nazywany chorobą osamotnienia.

Współżycie z innymi ludźmi nie zawsze jest jednak źródłem zadowolenia. Niejednokrotnie powstają w takich warunkach napięcia emocjonalne, które mogą być źródłem zaburzeń nerwicowych. Przypuszcza się, że obecne wysokie tempo rozwoju cywilizacji technicznej powoduje szczególnie duże obciążenie psychiki człowieka. Ograniczenie pracy fizycznej na korzyść działalności operatorskiej w pracy zawodowej, gdzie główne zadania sprowadzają się do analizy informacji, podejmowania na podstawie tej

analizy decyzji i nadzoru nad prawidłowością realizacji tych decyzji, są głównym powodem tego obciążenia.

Efektem zmian w psycho-socjalnych warunkach bytowania są zaburzenia charakteropatyczne, psychopatyczne i inne stany odchyleń od hipotetycznej „normy" psychicznej. W celu usuwania szczególnie dużych napięć emocjonalnych stosuje się obecnie coraz częściej różne leki z grupy tzw. środków psychotropowych. Ich zsyntetyzowanie było niewątpliwie dużym osiągnięciem farmakologii. Nie przewidziano jednak skutków ubocznych ich stosowania. Są one coraz częściej i chętniej stosowane w celu wyzbycia się stanów lękowych i nadmiernego pobudzenia emocjonalnego i to nie tylko w wyniku zaleceń lekarza. Ich nadużywanie w niektórych krajach prowadzi do niebezpiecznych następstw lekomanii w postaci uszkodzeń narządów wewnętrznych, a czasem także zmian w strukturze psychiki.

Nie należy tego traktować jako nieuzasadnione, alarmistyczne wywody. Każdy z powyższych czynników, jak stwierdzono doświadczalnie, może wywołać mutacje. Stałe zwiększanie tych możliwości może budzić niepokój o przyszłość biologiczną człowieka. W gatunkach żyjących w warunkach naturalnych przyroda eliminuje mutacje szkodliwe dając mniejsze szanse przeżywania takim osobnikom. Człowiek przeciwdziała tej selekcji naturalnej chroniąc jednostki mniej wartościowe biologicznie przez stosowanie zdobyczy medycyny i higieny. Jak obliczono, każdy człowiek ma przeciętnie 5—10 genów ujemnych. Przyjmując, że skutki ich obecności zostaną spotęgowane nieodpowiednimi działaniami środowiskowymi, możemy oczekiwać obniżenia się wartości biologicznej nie tylko jednostek, lecz także poszczególnych populacji.

Środowisko życia ludzkiego ulega szybkim przemianom. Od kilkudziesięciu lat wyeliminowano w Europie niektóre choroby zakaźne, które dawniej wywoływały duże epidemie. Stan ten powoduje, że zwiększa się odsetek osób, które są wrażliwe na te choroby, co może spowodować w przyszłości ponowny ich wybuch. Wrażliwość ta jest dziedziczna, sprzężona z określonymi kombinacjami genów.

Rozwój cywilizacji, a zwłaszcza rozwój techniki, spowodował wiele nieoczekiwanych następstw nie tylko dodatnich. Przeobrażając przyrodę i tworząc coraz nowe „lepsze" warunki bytowania, równocześnie powodujemy powstanie określonych zjawisk i procesów, które mają skutek ujemny. Perspektywy rozwoju techniki są bardzo obiecujące. Można teoretycznie przewidywać, że pozwoli ona w pełni zagospodarować i wykorzystać wszystko, co możliwe, w biosferze ziemskiej. Jednakże ludziom potrzeba coś więcej, co łączy się z ich kierunkiem rozwoju ewolucyjnego, a co nie zawsze można utożsamiać z osiągnięciami techniki.

Znajomość głównych kierunków rozwoju technicznego pozwala na regulację tego rozwoju, przystosowując go bardziej do właściwości ekologicznych wymagań człowieka. Już dzisiaj eliminuje się z produkcji pewne związki chemiczne, które są dla człowieka szkodliwe. Zaniechano stosowania DDT i pochodnych w wyniku poznania ujemnych wpływów tych związków na człowieka. Ogranicza się emisję pyłów i gazów, które powstają w wyniku produkcji w przemyśle chemicznym i energetycznym. Psychologia środowiskowa nabiera coraz większego znaczenia, a jej zalecenia coraz szerzej i powszechniej są stosowane.

Wiemy więc, w jaki sposób kierować rozwojem technicznym społeczeństw i chociaż nadal jeszcze w wielu krajach technika się rozwija

żywiołowo, coraz częściej rozpatruje się pod tym kątem problematykę przyszłości społeczeństwa ludzkiego i jego zagrożeń. Rozwój techniki jest nieuchronną koniecznością rozwoju człowieka. Technika nie może jednak ograniczać tego rozwoju. Jak jednak należy kierować rozwojem techniki? Na to pytanie nie znaleziono jak dotąd odpowiedzi. Nie ma jeszcze pełnych danych, czym może grozić obranie określonego kierunku tego rozwoju. Pewne perspektywy rozwiązania tego problemu bez wątpienia są, a włączenie nauki do opracowania odpowiedzi na pytanie — jak kierować techniką, daje gwarancję prawidłowego rozwiązania.

Tak więc kierunek rozwoju działalności człowieka i przyszłe jego potrzeby powodują, że obejmujemy swą działalnością coraz szersze kręgi biosfery. Już w niedalekiej przyszłości staniemy wobec faktu wykorzystania wszystkich ekologicznie optymalnych terenów. Wyłoni się potrzeba sięgnięcia do rezerw zawartych na obszarach mniej dla człowieka gościnnych, gdzie warunki bytowania i pracy są ekstremalne. Podstawy biologiczne przeciwstawiania się tym niekorzystnym warunkom są natomiast coraz bardziej niszczone na skutek tworzenia nadmiernej wygody bytowania i izolacji człowieka od otoczenia. Granice tolerancji czynników środowiskowych współczesnego człowieka coraz bardziej się kurczą. Czy wystarczą środki techniczne zabezpieczenia?

Sądzę jednak, że rozsądek będzie coraz częściej zwyciężał i, podobnie jak w dziedzinie ochrony środowiska, podjęty zostanie wysiłek utrzymania wartości biologicznej człowieka, wbrew ujemnym skutkom kierunku rozwojowego współczesnej cywilizacji.

## PIŚMIENNICTWO UZUPEŁNIAJĄCE


Beisson J.: *Genetyka*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1974.

*Czynniki rozwoju człowieka*, pod red. N. Wolańskiego, PWN, Warszawa 1972.

Dubos R.: *Człowiek, środowisko, adaptacja*, PZWL, Warszawa 1970.

Galubińska K.: *Postęp cywilizacji a obciążenie psychiczne człowieka*, PWN, Warszawa 1974.

Jethon Z., Klonowicz S.: *Operatorzy. Zarys psychofizjologii pracy*, IW CRZZ, Warszawa 1975.

Jethon Z., Krasucki P., Rogoziński A.: *Normy fizjologiczno-higieniczne w medycynie przemysłowej*, PZWL, Warszawa 1973.

Klonowicz S., Kozłowski S.: *Człowiek a środowisko termiczne*, PZWL, Warszawa 1970.

Leowski J.: *Metody oceny stanu zdrowia*, PZWL, Warszawa 1974.

McHale J.: *Człowiek i środowisko*, PWN, Warszawa 1975.

Romanowski W., Eberhard A.: *Profilaktyczne znaczenie zwiększonej aktywności ruchowej człowieka*, PZWL, Warszawa 1972.

Rose J.: *Zastosowanie i skutki automatyzacji*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1973.

*Zarys fizjopatologii nurkowania*, pod red. A. Dolatkowskiego i K. Ulewicza, PZWL, Warszawa 1973.



CENA ZŁ 15,—

NASTĘPNA POZYCJA „OMEGI"

Jacek Kalabiński

**Iran — nowe mocarstwo?**

Książka jest próbą przedstawienia wewnętrznej i międzynarodowej sytuacji współczesnego Iranu, a zwłaszcza tych czynników gospodarczych i politycznych, które sprawiają, że Iran staje się potęgą na mapie świata. W żywym, reportażowym ujęciu autor prezentuje m.in. historię walki o irańską naftę i możliwości, jakie otworzył przed Iranem kryzys naftowy 1973—1974 r., ambicje mocarstwowe Iranu i ich realizację zarówno poprzez reformy wewnętrzne (tzw. biała rewolucja), jak i umocnienie pozycji kraju w świecie. W końcowej refleksji autor konfrontuje plany mocarstwowe Iranu z rzeczywistą szansą ich realizacji.